

Eurokoodin soveltamisohje Puurakenteiden suunnittelu – NCCI 5

17.6.2013



Eurokoodin soveltamisohje
Puurakenteiden suunnittelu
NCCI 5

17.6.2013

Liikenneviraston ohjeita 25/2013

Liikennevirasto
Helsinki 2013

Kannen kuva: Liikenneviraston kuva-arkisto

Verkkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-663X

ISSN 1798-6648

ISBN 978-952-255-312-6

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

Taitorakenneyksikkö

Vastaanottaja
Liikennevirasto, ELY-keskukset

Säädösperusta
Maantielaki 109 §

Kohdistuvuus Voimassa 17.6.2013 alkaen toistaiseksi
Liikennevirasto,
ELY-keskusten liikenne- ja infrastruktuurivastualueet

Asiasanat
ohjeet, sillat, sillansuunnittelu, puurakenteet, eurokoodi

Eurokoodin soveltamisohje

Puurakenteiden suunnittelu - NCCI 5

Tätä sovellusohjetta käytetään yleisten teiden siltojen ja kevyen liikenteen siltojen suunnittelussa. Lisäksi ohjetta käytetään niiden yksityistiesiltojen suunnittelussa, jotka saavat valtion avustusta sillan rakentamiseen. Siltojen kantavuuden määrittämisestä annetaan ohjeet erikseen. Eurokoodeja ja niihin liittyviä Liikenneviraston sovellusohjeita voidaan soveltaa myös korjauskohteissa, mikäli se on tarkoituksenmukaista. Soveltamisohjetta voidaan soveltaa myös muiden puurakenteiden (kuin siltojen) suunnitteluun.

Tämä sovellusohje on tarkoitettu pienten ja keski suurten tavanomaisten siltojen (sillan kokonaismitta < 200 m) eurokoodin mukaiseen suunnitteluun. Erikoissilloille (esim. köysisillat) ja pidemmille silloille voidaan tätä sovellusohjetta käyttää Liikenneviraston hankekohtaisten lisämääräysten kanssa.

Ylijohtaja



Raimo Tapio

Tekninen johtaja



Markku Nummelin

LISÄTIETOJA
Heikki Lilja
Liikennevirasto
puh. 040 8439779

Esipuhe

Eurokoodit ovat korvanneet aiemmat siltojen kantavien rakenteiden suunnittelussa käytetyt ohjeet 1.6.2010 lähtien. Tämä soveltamisohje antaa ohjeita suunnittelijalle eurokoodien tulkintaan sekä esittää menetelmiä, joilla eurokoodien vaatimustaso täytetään.

Tästä soveltamisohjeesta on tehty tarkoituksellisesti pelkistetty eikä kaikkia eurokoodin esittämiä asioita ole käsitelty, joten tätä ohjetta pitää käyttää rinnakkain eurokoodin standardien SFS-EN 1995-1-1 ja SFS-EN 1995-2, niihin liittyvien siltoja koskevien kansallisten liitteiden sekä edellä mainittujen standardien viitestandardien kanssa. Siltoja koskevat kansalliset liitteet on julkaistu liikenne- ja viestintäministeriön ohjeina, mm. Liikenneviraston internet-sivuilla.

Puusiltojen kuormien ja kuormien yhdistelyjen määrittämisessä voidaan käyttää standardien (SFS-EN 1990 ja SFS-EN 1991) apuna Liikenneviraston soveltamisohjetta 'NCCI 1 – Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet'.

Tämän soveltamisohjeen kappaleiden ja kaavojen numerointi noudattaa standardin SFS-EN 1995-1-1 vastaavaa numerointia. Mikäli soveltamisohjeessa ei ole jotain eurokoodin kappaletta käsitelty tai kaavaa esitetty, noudatetaan ko. eurokoodia, ellei asianomainen viranomainen anna hankekohtaista ohjeistusta.

Tämä soveltamisohje on laadittu Liikenneviraston Taitorakenteet yksikössä pohjautuen Eurokoodeihin ja niiden kansallisiin liitteisiin. Konsulttina on toiminut insinööri-toimisto Ponvia Oy.

Helsingissä kesäkuussa 2013

Liikennevirasto
Taitorakenneyksikkö

Sisällysluettelo

1	YLEISTÄ	8
1.1	Standardien SFS-EN 1995 soveltamisala	8
1.2	Velvoittavat viittaukset.....	8
1.3	Oletukset.....	9
1.4	Periaate- ja soveltamissäännöt eurokoodeissa	9
1.5	Termit ja määritelmät	9
1.6	Merkinnät.....	9
2	SUUNNITTELUPERUSTEET	10
2.1	Vaatimukset.....	10
2.1.1	Perusvaatimukset.....	10
2.1.2	Luotettavuuden hallinta.....	10
2.1.3	Suunniteltu käyttöikä	10
2.2	Rajatilamitoituksen periaatteet.....	11
2.2.1	Yleistä	11
2.2.2	Murtorajatilat	11
2.2.3	Käyttöraajatilat	12
2.3	Perusmuuttujat	13
2.3.1	Kuormat ja ympäristön vaikutukset.....	13
2.3.2	Materiaali- ja tuoteominaisuudet.....	15
2.4	Vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen osavarmuuslukumenettelyyn perustuen	16
2.4.1	Materiaaliominaisuuden mitoitusarvo	16
2.4.2	Mittatietojen mitoitusarvot	17
2.4.3	Kestävyyksien mitoitusarvot.....	17
2.4.4	Tasapainon, kestävyuden (murtorajatilat) ja käyttörajatilojen osoittaminen	17
3	MATERIAALIOMINAISUUDET	19
3.1	Yleistä	19
3.1.1	Lujuus- ja jäykkyysparametrit.....	19
3.1.2	Jännitysten ja muodonmuutosten väliset yhteydet.....	19
3.1.3	Käyttöluokkiin ja kuorman aikaluokkiin liittyvät lujuuden muunnoskertoimet.....	19
3.1.4	Käyttöluokkia vastaavat virumaluvut	20
3.2	Sahatavara	20
3.3	Liimapuu	21
3.4	LVL (Laminated Veneer Lumber , Viilupuu)	22
3.5	Puulevyt.....	22
3.6	Liimat.....	23
3.7	Metalliliittimet	23
3.8	Puutuotteiden materiaaliominaisuustaulukot.....	23
3.8.1	Puun muodonmuutuskertoimet.....	23
3.8.2	Sahapuun ja LVL-tuotteiden materiaaliominaisuudet	24
3.8.3	Liimapuutuotteiden materiaaliominaisuudet.....	24
4	SÄILYVYYS	26
4.1	Puun biologinen kestävyys	26
4.2	Korroosiokestävyys.....	26

5	RAKENTEIDEN MALLINTAMISPERUSTEET	28
5.1	Yleistä	28
5.2	Rakenneosat	28
5.3	Liitokset	28
5.4	Kehä- ja ristikkorakenteet	29
6	MURTORAJATILAT	30
6.1	Poikkileikkauksen mitoitus yhdessä pääsuunnassa vaikuttaville jännityksille.....	30
6.1.1	Yleistä	30
6.1.2	Syiden suuntainen veto	30
6.1.3	Syitä vastaan kohtisuora veto	30
6.1.4	Syiden suuntainen puristus.....	31
6.1.5	Syitä vastaan kohtisuora puristus.....	31
6.1.6	Taivutus.....	32
6.1.7	Leikkaus	32
6.1.8	Väöntö	33
6.2	Jännityskomponenttien yhdistäminen	34
6.2.1	Yleistä	34
6.2.2	Syysuuntaan kulmassa α vaikuttavien puristusjännitysten mitoitusehto	34
6.2.3	Taivutuksen ja vedon yhteisvaikutus.....	34
6.2.4	Taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutus	34
6.3	Puristetut ja taivutetut sauvat.....	35
6.3.1	Yleistä	35
6.3.2	Puristetun ja taivutetun sauvan kestävyys nurjahdusriski huomioon ottaen.....	35
6.3.3	Taivutetun ja puristetun sauvan kestävyys kiepahdusriski huomioon ottaen.....	37
6.4	Pulpettipalkin ja kaarevan palkin mitoitus	39
6.4.1	Yleistä	39
6.4.2	Pulpettipalkit.....	39
6.4.3	Kaarevat palkit	40
6.5	Lövetut sauvat	42
6.5.1	Yleistä	42
6.5.2	Tuen kohdalla lovetut palkit.....	42
6.6	Useasta pääsauvasta ja poikittaisesta sekundäärisauvasta koostuvan systeemin kestävyys.....	44
6.7	Väsyminen.....	45
6.8	Palkkien reiät	45
6.9	Poikittain jännitetyt lamellikannet	45
7	KÄYTTÖRAJATILAT	47
7.1	Liitososien välinen siirtymä.....	47
7.2	Taipumien raja-arvot.....	47
7.3	Värähtely	48
7.3.1	Yleistä	48
7.3.2	Puurakenteiden tiesiltojen värähtely.....	49
7.3.3	Kevyen liikenteen puusiltojen värähtely	49
7.3.4	SFS-EN 1995-2 liitteen B yksinkertaistettu värähtelytarkastelu.....	50
7.3.5	Ominaistaajuus- ja kiihtyvyysskennan viitteellistä taustatietoa	50

8	METALLILIITTIMIN TEHDYT LIITOKSET	52
8.1	Yleistä	52
8.1.1	Puusiltojen liitoksia ja liittimiä koskevia yleisiä rajoituksia ja ohjeita	52
8.1.2	Usean liittimen liitokset	52
8.1.3	Usean leikkaustason käsittävät liitokset	53
8.1.4	Liitoksessa syysuuntaan nähden vinosti vaikuttava voima	53
8.1.5	Liitokseen puristusta ja vetoa aiheuttava voima	54
8.2	Puikkoliittimien poikkitaikkuormakestävyys	54
8.2.1	Yleistä	54
8.2.2	Kahden puuosan sekä puuosan ja puulevyn väliset liitokset	54
8.2.3	Teräksen ja puun väliset liitokset	55
8.3	Naulaliitoksia koskevia sääntöjä	56
8.3.1	Poikittain kuormitetut naulat	56
8.3.2	Aksiaalisesti kuormitetut naulat	59
8.4	Hakasliitokset	59
8.5	Pulttiliitoksia koskevia sääntöjä	59
8.5.1	Poikittain kuormitetut pultit	59
8.5.2	Aksiaalisesti kuormitetut pultit	61
8.6	Tappivaarnaliitokset	62
8.7	Ruuviliitokset	62
8.7.1	Poikittain kuormitetut ruuvit	62
8.7.2	Aksiaalisesti kuormitetut ruuvit	63
8.7.3	Samanaikaisesti poikittain ja aksiaalisesti kuormitetut ruuvit	65
8.8	Naulalevyliitokset	66
8.9	Rengasvaarnat ja lautasvaarnat	66
8.10	Hammasvaarnat	66
8.11	Liimatankoliitokset	66
8.12	Liittorakenteet	67
9	LEVY- JA RISTIKKORAKENTEET	69
LIITE 1	LIIMAPUISEN PALKKISILLAN POIKKILEIKKAUKSIA	71

1 Yleistä

1.1 Standardien SFS-EN 1995 soveltamisala

Eurokoodi 5 koskee rakennusten sekä maa- ja vesirakennuskohteiden puurakenteiden (sahatavara, liimapuu tai puiset rakennustuotteet) suunnittelua ja määrittelee niiden kestävyyttä, käyttökelpoisuutta ja säilyvyyttä koskevat periaatesäännöt ja vaatimukset.

Osa SFS-EN 1995-1-1 sisältää puurakenteiden suunnittelua koskevat yleiset säännöt ja rakennusten suunnittelua koskevat erityissäännöt sekä osa SFS-EN 1995-1-2 palomitoitusta koskevat säännöt.

Osa SFS-EN 1995-2 sisältää vain ne SFS-EN 1995-1-1 asiakohdat, joita se täydentää puusiltojen suunnittelua koskevilla erityissäännöillä, kun siltä tehdään kokonaan puusta tai puuta muihin materiaaleihin (tavallisesti betoniin tai teräkseen) yhdistäen.

1.2 Velvoittavat viittaukset

Päiväämättömien viitestandardien tapauksessa sovelletaan viimeisintä voimassa olevaa päivitysversiona.

Puurakenteiden suunnittelua koskevien standardien SFS-EN 1995-1-1 ja SFS-EN 1995-2 lisäksi muita huomioon otettavia eurokoodistandardeja ovat mm.:

SFS-EN 1990:2002	Rakenteiden suunnitteluperusteet
SFS-EN 1990:2002/A1	Rakenteiden suunnitteluperusteet, Muutos A1 - Liite A2: Soveltaminen siltoihin
SFS-EN 1991	Rakenteiden kuormat
SFS-EN 1992-1-1	Betonirakenteiden suunnittelu – Osa 1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
SFS-EN 1992-2	Betonirakenteiden suunnittelu – Osa 2: Betonisillat
SFS-EN 1993-1-1	Teräsrakenteiden suunnittelu – Osa 1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
SFS-EN 1993-2	Teräsrakenteiden suunnittelu – Osa 2: Terässillat

Puutuotteiden lujuus- ja materiaaliominaisuuksia on esitetty mm. seuraavissa standardeissa:

SFS-EN 338	Structural timber. Strength classes
SFS-EN 1194	Timber structures. Glued laminated timber. Strength classes and determination of characteristic values

Puutuotteiden tuotannollisia vaatimuksia on käsitelty mm. seuraavissa standardeissa:

SFS-EN 14080	Puurakenteet. Liimapuu. Vaatimukset
SFS-EN 14081-1	Puurakenteet. Lujuuslajiteltu poikkileikkaukseltaan suorakaiteen muotoinen rakennuspuutavara. Osa 1: Yleiset vaatimukset
SFS-EN 14374	Timber structures. Structural laminated veneer lumber. Requirements
prEN 10138-1	Prestressing steels – Part 1: General requirements.
prEN 10138-4	Prestressing steels – Part 4: Bars.

1.3 Oletukset

Standardeissa SFS-EN 1995-1-1 ja SFS-EN 1995-2 kappaleessa 1.3 esitetyt oletukset ovat voimassa.

1.4 Periaate- ja soveltamissäännöt eurokoodeissa

Periaate- ja soveltamissääntöjen välinen ero on esitetty standardin SFS-EN 1990:2002 kappaleessa 1.4.

1.5 Termit ja määritelmät

Käytettävät termit ja määritelmät on esitetty standardeissa SFS-EN 1995-1-1 ja SFS-EN 1995-2 kappaleessa 1.5.

1.6 Merkinnät

Ellei toisin ole mainittu, tässä soveltamisohjeessa noudatetaan standardien SFS-EN 1995-1-1 ja SFS-EN 1995-2 kohtien 1.6 mukaisia merkintöjä.

2 Suunnitteluperusteet

2.1 Vaatimukset

2.1.1 Perusvaatimukset

Eurokoodi SFS-EN 1995 on tarkoitettu sovellettavaksi yhdessä muiden eurokoodien, erityisesti SFS-EN 1990:2002 'Rakenteiden suunnitteluperusteet' ja EN 1991 'Rakenteiden kuormat', kanssa.

Eurokoodien lisäksi suunnittelussa on otettava huomioon niitä koskevissa Liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) sekä Ympäristöministeriön (YM) kansallisissa liitteissä esitetyt täydennykset, täsmennykset ja lisävaatimukset. Sillansuunnittelussa noudatetaan ensisijaisesti Liikenne- ja viestintäministeriön kansallista liitettä.

Suunnittelun apuna voidaan käyttää Liikenneviraston soveltamisohjeita (NCCI-sarja).

Puusiltojen suunnittelussa sovellettavien määräysten ja ohjeiden pätemisjärjestys on seuraava:

- 1) Liikenteen turvallisuusviraston (TraFi) määräykset
- 2) Liikenneviraston antamat hankekohtaiset suunnitteluperusteet
- 3) Eurokoodit ja niiden kansalliset liitteet
- 4) Liikenneviraston Eurokoodien soveltamisohjeet (NCCI-sarja)
- 5) Liikenneviraston muut ohjeet

Suunnittelussa laadittavilla hankekohtaisilla laatuvaatimuksilla ja työselostuksilla voidaan korvata ja täydentää InfraRYL:n laatuvaatimuksia.

2.1.2 Luotettavuuden hallinta

Riittävä luotettavuustaso saavutetaan, kun suunnittelussa ja toteutuksessa noudatetaan eurokoodeja ja niiden kansallisia liitteitä.

Luotettavuuden hallinnasta on esitetty ohjeistusta standardissa EN 1990:2002 ja Liikenneviraston soveltamisohjeessa NCCI 1 – Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet (kappale F.3).

2.1.3 Suunniteltu käyttöikä

Ellei hankekohtaisesti toisin sovita noudatetaan puusiltojen alusrakenteiden suunnittelussa standardin SFS-EN 1990:2002 kohdan 2.3 taulukon 2.1 ja NCCI2 taulukon 4.2 mukaista 100 vuoden käyttöikää.

Puusiltojen päällysrakenteen suunnittelukäyttöikä on lähtökohtaisesti 50 vuotta, joka soveltuu suurimmalle osalle puusilloja. Liikennevirasto voi vaatia pidempää suunnittelukäyttöikää esim. valtateiden puusilloissa. Pidempi käyttöikä edellyttää sälle alt-

tiiden rakenteiden suojausta (ks. 2.3.1.3) siten, että puurakenteet voidaan tarkastella käyttöluokassa 2.

Yksittäisten rakenneosien suunnittelukäyttöikä voi olla alle 50 vuotta sillä edellytyksellä, että rakenneosat suunnitellaan helposti vaihdettaviksi. Esimerkiksi puisen syrjäälankkukannen suunnittelukäyttöikänä voidaan yleensä pitää 25 vuotta.

2.2 Rajatilamitoituksen periaatteet

2.2.1 Yleistä

Rakenneanalyyseissä ja mitoitusarkasteluissa noudatetaan standardin SFS-EN 1995-1-1 kohtien 2.1.1 perusvaatimuksia ja 2.2.1 yleisiä periaatteita. Määrittävien mitoitusapausten kartoittamisessa on otettava huomioon mm. seuraavat asiat:

- erilaiset materiaaliominaisuudet (lujuus ja jäykkyys)
- erilaiset ajasta riippuvia vaikutukset (viruma, kuorman kesto)
- erilaiset ilmasto-olosuhteet (kosteus/käyttöluokka, lämpötila)
- erilaiset mitoitusilanteet (lopputila, työnaikainen, vaihteittain rakentaminen)

2.2.2 Murtorajatilat

Voimasuurelaskennassa rakennemallien jäykkyysominaisuudet valitaan tapauskohtaisesti standardin SFS-EN 1995-1-1 kohdan 2.2.2 mukaisesti.

Analysoitaessa geometrisesti lineaarisesta rakennetta lineaarisella kimmoteorialla käytetään jäykkyysominaisuuksien keskiarvoja (E_{mean} , G_{mean} , K_{ser}), kun rakenneosien ajasta riippuvat ominaisuudet eivät eroa toisistaan merkittävästi.

Jos rakenneosien ajasta riippuvien ominaisuuksien erilaisuudesta johtuvat jäykkyserot vaikuttavat voimasuureiden sisäiseen jakautumiseen (esim. liittorakenneosat tai eri käyttötilojen rakenneosat), käytetään lopputilan jäykkyysominaisuuksien keskiarvoja ($E_{\text{mean,fin}}$, $G_{\text{mean,fin}}$, $K_{\text{ser,fin}}$), joiden laskentakaavat on esitetty kohdassa 2.3.2.2. Kaavojen pitkäaikaisuutta kuvaava Ψ_2 -kerroin valitaan jännitysten suhteen määräävän osakuorman perusteella.

Analysoitaessa geometrisesti epälineaarisia rakenteita ns. toisen kertaluvun lineaarisella kimmoteorialla, käytetään kohdan 2.4.1 mukaisia kuorman kestosta riippumattomia jäykkyysominaisuuksien mitoitusarvoja (E_d , G_d).

Murtotilataarkasteluissa liitosten siirtymien vaikutus voimasuureisiin otetaan tarvittaessa huomioon siirtymäkerrointa K_u käyttäen (ks. kpl 7.1).

$$K_u = \frac{2}{3} K_{\text{ser}} \quad (2.1)$$

2.2.3 Käyttörajatilat

Värähtelytarkasteluissa käytetään 1,2-kertaista E_{mean} - arvoa.

Kuormista sekä kosteus- ja lämpötilamuutoksista johtuvien muodonmuutosten (taipuma, siirtymä, kiertymä) tulee pysyä sallituissa rajoissa, eikä niistä saa aiheutua rakenteellista, toiminnallista tai esteettistä haittaa. Siltojen kohdalla haitat voivat kohdistua esim. laakereihin ja liikuntasaumalaitteisiin, kannen pintavesien johtamiseen tai ulkonäköön.

Hetkellinen muodonmuutos u_{inst} lasketaan kimmo-, liuku- ja siirtymäkertoimien keskiarvoja (E_{mean} , G_{mean} , K_{ser}) käyttäen.

Jos rakenneosien ajasta riippuvat ominaisuudet eivät eroa toisistaan merkittävästi, lasketaan lopputilassa vallitseva muodonmuutos $u_{\text{fin}} = u_{\text{inst}} + u_{\text{creep}}$ joko kaavoilla (2.2)...(2.5) tai vaihtoehtoisesti kohdan 2.3.2.2 kaavojen (2.10)...(2.11) 'viruneita' jäykkyysominaisuuksia ($E_{\text{mean,fin}}$, $G_{\text{mean,fin}}$, $K_{\text{ser,fin}}$) käyttäen. Molemmat laskentatavat johtavat tässä tapauksessa samaan lopputulokseen. Hetkellistä muodonmuutosta (u_{inst}) kasvattava virumavaikutus (u_{creep}) otetaan kaavoissa huomioon käyttöluokan (kertoimen k_{def}) ja kuorman pitkäaikaisosuuden (kertoimen Ψ_2) avulla.

Virumaominaisuuksiltaan erilaisten rakenneosien lopputilassa vallitseva muodonmuutostila (u_{fin}) on määritettävä kohdan 2.3.2.2 rakenneosakohtaisiin lopputilan jäykkyysominaisuuksien keskiarvoihin ($E_{\text{mean,fin}}$, $G_{\text{mean,fin}}$, $K_{\text{ser,fin}}$) perustuen.

Standardin SFS-EN 1995-1-1 käyttörajatilan ominaisyhdistelmää vastaavat periaatteelliset kaavat (2.2)...(2.5) on seuraavassa muunneltu vastaamaan tavallista kuormayhdistelmää.

$$u_{\text{fin}} = u_{\text{fin,G}} + u_{\text{fin,Q1}} + \sum u_{\text{fin,Qi}} \quad (2.2)$$

missä loppumuodonmuutoksen kuormakohtaiset lausekkeet ovat:

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{inst,G}} (1 + k_{\text{def}}) \quad \text{pysyväälle kuormalle G} \quad (2.3)$$

$$u_{\text{fin,Q1}} = u_{\text{inst,Q1}} (\Psi_{1,1} + \Psi_{2,1} k_{\text{def}}) \quad \text{liikennekuorman } Q_1 \text{ tavalliselle arvolle} \quad (2.4)$$

$$u_{\text{fin,Qi}} = u_{\text{inst,Qi}} \Psi_{2,i} (1 + k_{\text{def}}) \quad \text{muun muuttuvan kuorman } Q_i \text{ tavalliselle arvolle} \quad (2.5)$$

Huom.! Kaavan (2.5) tarve rajoittuu sillansuunnittelussa erikoistapauksiin.

Puusiltojen taipumakriteerejä on tarkasteltu kohdassa 7.2 ja värähtelyä kohdassa 7.3. Jäykkyysominaisuuksien laskentakaavat on esitetty kappaleessa 2.3.2.2.

2.3 Perusmuuttajat

2.3.1 Kuormat ja ympäristön vaikutukset

2.3.1.1 Yleistä

Siltojen kuormat saadaan standardeista SFS-EN 1991 ja niiden kansallisista liitteistä.

Kyllästetyn puun tilavuuspainona käytetään käyttöluokissa 2 ja 3 arvoa 6 kN/m^3 kylästysaineesta riippumatta. Tarvittaessa suunnittelija voi esittää käytettäväksi tarkempia arvoja.

Liikennekuormat saadaan standardista SFS-EN 1991-2 'Siltojen liikennekuormat' ja sen kansallisesta liitteestä (LVM), jossa on esitetty sekä liikenteen kuormakomponentit että yhdistelyissä yksittäisinä kuormina käsiteltävät kuormaryhmät gr1...gr5.

Sillansuunnittelussa tarvitaan normaalisti vallitsevissa mitoitustilanteissa standardin SFS-EN 1991-1 osia -1, -4 ja -5, tilapäisissä mitoitustilanteissa (toteutus, korjaus) osaa -6 ja onnettomuustilanteissa osaa -7 sekä edellä mainittujen kansallisia liitteitä (LVM). Lumikuorman vaikutusten tarkastelu rajoittuu vain erikoistapauksiin, joita ovat esim. katetut sillat, erilaiset latu-, moottorikelkka- ja raittisillat sekä sillat, jotka eivät kuulu talvikunnossapidon piiriin.

Huom. Paikallisten rasitusten tarkasteluissa – esim. syrjälankku- ja lamellikansilla – on otettava huomioon Eurokoodin SFS-EN 1991-2 suurentuneet pyöräkuormat ja kuormituspinnan dimensiomuutokset entiseen suunnittelukäytäntöön verrattuna. Kuormakaaviolla 1 (LM 1) pyöräkuorman nimellisarvo on 150 kN ja vaikutusalue $400 \times 400 \text{ mm}^2$, kuormakaaviolla 2 (LM 2) vastaavasti 200 kN ja vaikutusalue $350 \times 600 \text{ mm}^2$. Pyöräkuorman jakautumissääntöjä on esitetty standardin SFS-EN 1991-2 kohdassa 4.3.6 ja lamellikansiin liittyen standardin SFS-EN 1995-2 kohdassa 5.1.2.

Siltojen kuormitusyhdistelyt on määritelty standardin SFS-EN 1990:2002 A1 (Liite2) kansallisessa liitteessä (LVM). Puusiltojen kuormien ja niiden yhdistelyjen määrittämisessä voidaan käyttää standardien apuna liikenneviraston soveltamisohjetta 'NCCI 1 – Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet'.

Kestävyys- ja käyttökelpoisuustarkasteluissa kuorman keston vaikutus puun materiaaliominaisuuksiin otetaan huomioon kuorman aikaluokkien ja puun kosteuden vaikutus käyttöluokkien avulla. Kokonaisvaikutus puun lujuusominaisuuksiin otetaan huomioon kertoimella k_{mod} (ks. 3.1.3) ja kokonaisvaikutus jäykkyysoinaisuuksiin kertoimella k_{def} (ks. 3.1.4).

Puusiltojen suunnittelussa on otettava lisäksi huomioon puun kosteus- ja lämpötilavaihteluista sekä eri materiaalia olevien rakenneosien välisistä lämpötilaeroista aiheutuvat muodonmuutoskuormat (ks. kohta 3.8 taulukko 4.1).

2.3.1.2 Kuormien aikalukat

Kuormat jaetaan aikaluokkiin seuraavasti:

- Pysyvät kuormat:
 - oma paino, maanpaine, tukipainumat/ -siirtymät ¹⁾
- Pitkäaikaiset kuormat:
 - muuttuvien kuormien Ψ_2 -pitkäaikaisosuus
- Keskipitkät kuormat:
 - kosteuden muutoskuormat, lumikuorma,
- Lyhytaikaiset kuormat:
 - lämpötilakuormat, tuulikuorma, työnaikaiset kuormat,
- Hetkelliset kuormat:
 - liikennekuorma ²⁾, liikenteen maanpaine ²⁾, onnettomuuskuormat

1) Tukipainumakuorman vaikutuskerroin on 1 tai 0 siitä riippuen, kumpi on tarkastelussa määräävä. Tukipainuma käsitellään pysyvänä kuormana.

2) Ajoneuvoliikenteen ja kevyen liikenteen muuttuvia kuormia voidaan yleensä pitää hetkellisinä, ellei hankekohtaisesti toisin sovita (esim. ruuhkautuva raskas liikenne).

2.3.1.3 Käyttöluokat

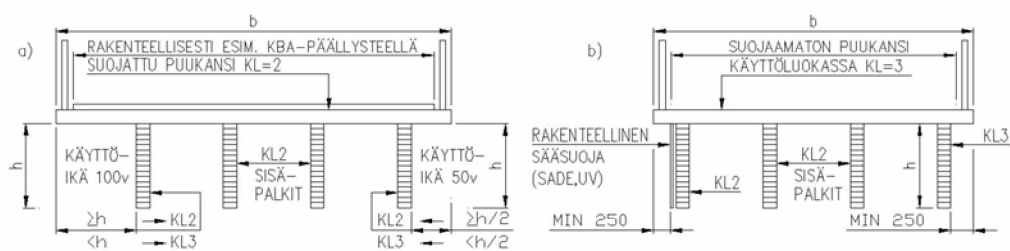
Siltojen suolakyllästetyt puurakenteet kuuluvat tapauksesta riippuen standardin SFS-EN 335-1 käyttöluokkiin 2 tai 3. Kreosootilla kyllästettyä puuta voidaan tarkastella ulkoilmassa suojaamattomanakin käyttöluokassa 2.

Käyttöluokkaan 2 kuuluvat ulkona tuulettuvassa tilassa olevat ja kastumiselta rakenteellisesti suojatut siltojen puurakenteet, joiden lämpötilaa +20 C vastaava suhteellinen kosteus 20 % ja ilman suhteellinen kosteus 85 % ylittävät vain tilapäisesti (muutamana viikkona vuodessa).

Käyttöluokkaan 3 kuuluvat käyttöluokan 2 kosteusarvot ylittävät, ulkona kosteissa olosuhteissa säälle ja veden välittömille vaikutuksille alttiit siltojen puurakenteet, kuten suojaamattomat syrjälankkukannet ja liimapuiset elementtikannet sekä puukaikeet (kuva 1b). Syrjälankkukannen rakentamisvaiheessa puumateriaalin ja ympäristöolosuhteiden tulee kuitenkin täyttää vähintään käyttöluokan 2 vaatimukset.

Puusiltojen kannen alapuolisia puurakenteita ja kumibitumiasfaltilla päällystettyjä puukansia voidaan yleensä tarkastella käyttöluokassa 2 (kuva 1a). Edellytyksenä on, että kuvan 1a reunimmaisissa palkkeissa suojaavan kansikulokkeen pituus on $\geq h/2$. Vesistösiltoja koskee lisäksi vaatimus, että rakenteet eivät altistu roiskevesivaikutuksille.

Sadan vuoden suunnittelukäyttöä vaatima käyttöluokka 2 edellyttää, että kuvan 1a reunimmaisissa palkkeissa suojaavan kansikulokkeen pituus on $\geq h$ tai että palkin ulkopinta suojataan rakenteellisesti esim. helposti vaihdettavalla liimapuulevyllä kuvan 1b periaatteella.



Kuva 1. Puukantinen liimapuupalkkisilta

2.3.2 Materiaali- ja tuoteominaisuudet

2.3.2.1 Kuormien keston ja kosteuden vaikutukset lujuuteen

Otetaan huomioon k_{mod} – kertoimilla, jotka on esitetty standardin SFS-EN 1995-1-1 taulukossa 3.1 ja tämän soveltamisohjeen taulukossa 2.

2.3.2.2 Kuormien keston ja kosteuden vaikutukset muodonmuutostilaan

Otetaan huomioon k_{def} – kertoimilla, jotka on esitetty standardin SFS-EN 1995-1-1 taulukossa 3.2 ja tämän soveltamisohjeen taulukossa 3.

Kohdassa 2.2.3 mainitut käyttötilan loppumuodonmuutostilan laskennassa käytettävät jäykkyysominaisuuksien lopputilan 'viruneet' keskiarvot saadaan lausekkeista:

$$E_{mean, fin} = \frac{E_{mean}}{(1+k_{def})} \quad (2.7)$$

$$G_{mean, fin} = \frac{G_{mean}}{(1+k_{def})} \quad (2.8)$$

$$K_{ser, fin} = \frac{K_{ser}}{(1+k_{def})} \quad (2.9)$$

Kohdassa 2.2.2 mainitut murtotilan voimasuurelaskennassa käytettävät jäykkyysominaisuuksien lopputilan keskiarvot saadaan lausekkeista:

$$E_{mean, fin} = \frac{E_{mean}}{(1+\psi_2 k_{def})} \quad (2.10)$$

$$G_{mean, fin} = \frac{G_{mean}}{(1+\psi_2 k_{def})} \quad (2.11)$$

$$K_{ser, fin} = \frac{K_{ser}}{(1+\psi_2 k_{def})} \quad (2.12)$$

missä ψ_2 = lujuuden suhteen määräävän muuttuvan kuorman pitkäaikaisyhdistelykerroin.

2.4 Vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen osavarmuuslukumenettelyyn perustuen

2.4.1 Materiaaliominaisuuden mitoitusarvo

Ominaislujuuden (X_k) mitoitusarvo (X_d), jossa kuormien keston ja kosteuden vaikutukset on otettu huomioon, saadaan lausekkeesta

$$X_d = k_{\text{mod}} \frac{X_k}{\gamma_M}, \quad (2.14)$$

missä γ_M = materiaaliominaisuuden osavarmuusluku

Puusiltojen mitoitusarkasteluissa käytetään kansallisen liitteen NA SFS-EN 1995-2 (LVM) taulukon 2.1 (FI) mukaisia suositeltavia materiaaliosavarmuuslukuja.

Taulukko 1. Suositeltavat materiaaliosavarmuusluvut (NA SFS-EN 1995-2 (LVM) – 2.1 (FI))

Rakenne ja materiaali	γ_M	Huom.
1. Puu- ja puutuotteet <ul style="list-style-type: none"> • normaalimitoitus <ul style="list-style-type: none"> - sahatavara - havusahatavara $\geq C35$ - liimapuu, LVL, vaneri - syitä vastaan \perp puristusjännitys • väsymismitoitus 	1,4 1,25 1,2 1,0 1,0	lujuusluokkaehto ***) ehto $\gamma_{M,\text{fat}}$
2. Liitokset <ul style="list-style-type: none"> • normaalimitoitus • väsymismitoitus 	*) 1,0	γ_M $\gamma_{M,\text{fat}}$
3. Liittorakenteissa käytettävä <ul style="list-style-type: none"> • teräs • betoni • leikkausliittimet puun ja betonin välillä <ul style="list-style-type: none"> - normaalimitoitus - väsymismitoitus 	**) **) 1,25 1,0	$\gamma_{M,s} \rightarrow$ SFS-EN 1993 $\gamma_{M,c} \rightarrow$ SFS-EN 1992 $\gamma_{M,v}$ $\gamma_{M,v,\text{fat}}$
4. Esijännitysteräket	1,15	$\gamma_{M,s}$
5. Onnettomuusyhdistelmillä	1,0	

*) Liitoskestävyydet lasketaan liittyvän tuotteen materiaaliosavarmuuslukua γ_M käyttäen.

**) Liittorakenteissa teräs- ja betoniosien mitoituslujuudet lasketaan standardien SFS-EN 1993 ja SFS-EN 1992 kansallisten liitteiden (LVM) materiaaliosavarmuusluvuilla.

***) Syitä vastaan kohtisuoran puristuksen mitoituslujuuden laskenta osavarmuuslukua $\gamma_M = 1,0$ käyttäen edellyttää riittävän tasaista jännitysjakautumaa tuki- tai kuormituspinalla. Mitoittavana jännityksenä ($\sigma_{c,90,d}$) käytetään tällöin tukipinnan keskimääräistä jännitystä.

Jännitysjakamaa voidaan pitää riittävän tasaisena, kun:

- tukipintaan vaikuttaa keskeinen kuorma ja voimia puuhun välittävät rakenneosat (esim. laakerilevyt) toimivat jäykästi (ei vaikutusta jännitysten jakautumiseen)
- palkin kiertyminen ei muuta kuorman tasaista jakautumista, kuten esim. vapaan kiertymän sallivien laakereiden tapauksessa
- kuormitettu alue on kauttaaltaan puristettu, jännitysjakama lineaarinen ja reunajännitysten poikkeama puristusjännitysten keskiarvosta korkeintaan $\pm 10 \%$.

Mikäli riittävän tasaista jännitysjakamaa ei saavuteta, on käytettävä puutuotteiden normaaleja materiaaliosavarmuuslukuja ja tarvittaessa käytettävä lisävarmuutta mitoittavan jännityksen määrittämisessä.

Jäykkyysominaisuuksia kuvaavien kimmo- ja liukukertoimien mitoitusarvoja (2.15) ja (2.16) käytetään vain lineaarisen kimmoteorian mukaisessa ns. toisen kertaluvun rakenneanalyyysissä, kun alku- ja lisäepäkeskeisyyksien vaikutus voimasuureisiin otetaan huomioon tarkastelemalla rakenneosia geometrisesti epälineaarisina.

$$E_d = \frac{E_{\text{mean}}}{\gamma_M} \quad (2.15)$$

$$G_d = \frac{G_{\text{mean}}}{\gamma_M} \quad (2.16)$$

2.4.2 Mittatietojen mitoitusarvot

Rakenneanalyyysissä (voimasuurelaskenta ja mitoitustarkastelut) käytetään rakennussuunnitelmien tai puutuotestandardien (esim. liima- ja kertopuu) mukaisia nimellismittoja.

Standardin SFS-EN 1995-1-1 mukaisiin menetelmiin sisältyy yksittäisten sauvojen ja koko rakenteen valmistukseen ja toteutukseen liittyvät mitta- ja asennusepätkätkuudet sekä puumateriaalin epähomogeenisuus.

2.4.3 Kestävyyksien mitoitusarvot

Lujuuksiin (X_i) pohjautuvien kestävyysien $R = f(X_i)$ mitoitusarvot saadaan lausekkeesta

$$R_d = k_{\text{mod}} \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (2.17)$$

2.4.4 Tasapainon, kestävyys (murtorajatilat) ja käyttörajatilojen osoittaminen

Staattisella tasapainotilalla tarkoitetaan esim. jäykän kappaleen stabiiliuteen ja laakerin ankkuroimis- tai vastapainotarpeeseen liittyviä tasapainotiloja.

Jäykän kappaleen stabiilisuustarkastelu (EQU) tehdään kansallisen liitteen NA SFS-EN 1990:2002 A1 – Annex A2 (LVM) taulukon A2.4 (A) (FI) mukaan. (NCCI 1 – taulukko G.4)

Kestävyystarkastelu murtorajatilassa (STR/GEO) tehdään kansallisen liitteen NA SFS-EN 1990:2002 A1 – Annex A2 (LVM) taulukon A2.4 (B) (FI) mukaan. (NCCI 1 – taulukko G.5)

Mahdollinen onnettomuusmitoitustarkastelu (A) tehdään kansallisen liitteen NA SFS-EN 1990:2002 A1 – Annex A2 (LVM) taulukon A2.5 (FI) mukaan. (NCCI 1 – taulukko G.7)

Käyttörajatilatarkastelut tehdään standardin SFS-EN 1990:2002 A1 – Annex A2 (LVM) taulukon A2.6 mukaan. (NCCI 1 – taulukko G.8)

Edellä mainittuja rajatiloja käsitellään Liikenneviraston soveltamisohjeen 'NCCI 1 – Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet' kappaleissa G.3 ja G.4 sekä käytettäviä kuormitusyhdistelmiä NCCI 1:n liitteessä 1.

3 Materiaaliominaisuudet

3.1 Yleistä

3.1.1 Lujuus- ja jäykkyysparametrit

Suunnittelussa käytetään tuotekohtaisten standardien koetuloksiin perustuvia lujuus- ja jäykkyysarvoja.

3.1.2 Jännitysten ja muodonmuutosten väliset yhteydet

Materiaali oletetaan kestävyystarkasteluissa lineaarisesti kimmoiseksi murtoon saakka.

3.1.3 Käyttöluokkiin ja kuorman aikaluokkiin liittyvät lujuuden muunnoskertoimet

Suunnittelussa käytetään standardin SFS-EN 1995-1-1 taulukon 3.1 muunnoskertoimen k_{mod} arvoja.

Sahatavaralla, liimapuulla, LVL:llä ja vanerilla on käyttö- ja aikaluokittain samat k_{mod} -arvot.

Taulukko 2. (ks. SFS-EN 1995-1-1 taulukko 3.1) Puutuotteiden k_{mod} -arvoja

Materiaali Puutuote	Standardi SFS-	Käyttö- luokka	Kuorman aikaluokka				
			Pysyvä kuoma	Pitkä- aikainen	Keski- pitkä	Lyhyt- aikainen	Hetkel- linen
Sahatavara	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
Liimapuu	EN 14080	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
LVL (kerto)	EN 14374	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Vaneri	EN 636 (1-3)						

Huom. Taulukon vaakarivien käyttöluokkakohdaiset k_{mod} -kertoimet ovat voimassa kaikille vasemman sarakkeen puutuotteille.

Kuormayhdistelmän k_{mod} - muunnoskertoimena käytetään lyhytkestoisimman osakuorman - siltojen kuormayhdistelmissä tyypillisesti liikennekuorman - aikaluokkaa vastaavaa arvoa.

3.1.4 Käyttöluokkia vastaavat virumaluvut

Käytetään standardin EN 1995-1-1 taulukon 3.2 virumaluvun k_{def} arvoja.

Taulukko 3. (ks. SFS-EN 1995-1-1 taulukko 3.2) Puutuotteiden k_{def} -arvoja

Materiaa- li/Puutuote	Standardi	Käyttöluokka		
		1	2	3
Sahatavara Liimapuu LVL (kerto)	SFS-EN 14081-1 SFS-EN 14080 SFS-EN 14374	0,60	0,80	2,00
Vaneri	SFS-EN 636 Part 1	0,80	-	-
	Part 2	0,80	1,00	-
	Part 3	0,80	1,00	2,50

3.2 Sahatavara

Sahatavaran vaatimukset ovat standardien SFS-EN 14081-1 (suorakaidepoikkileikkaus) ja SFS-EN 14544 (pyöreä poikkileikkaus) mukaiset. Sormijatkosten tulee täyttää standardin SFS-EN 385 vaatimukset.

Sahatavaran lujuusluokat sekä niitä vastaavat ominaislujuudet ja -jäykkyydet on esitetty standardin SFS-EN 338 'Structural timber. Strength classes' taulukossa 1 ja yleisimmin käytettyjen luokkien osalta tämän soveltamisohjeen kohdan 3.8 taulukossa 4.2.

Huom. Sahatavaran leikkauslujuuksia on korotettu versiossa SFS-EN 338:2009.

Lujuusluokan on oltava siltojen kantavissa rakenteissa vähintään C30 ja sekundääri-rakenteissa C24.

Lujuusluokka C30 vastaa pohjoismaista INSTA 142 T-lajitteluluokkaa T3 ja sitä aikaisempaa lujuusluokkaa T30 sekä lujuusluokka C24 aikaisempia luokkia T2 ja T24. Suomalainen pyöreä puutavara voidaan suunnitella lujuusluokassa C30 (Ympäristöministeriön tiedote 1.11.2007).

Halkeamien vaikutus puun leikkauslujuuteen on otettava huomioon (ks. 6.1.7).

Jos taivutetun palkin korkeus (h) tai vedetyn sauvan suurempi sivumitta (h) on < 150 mm, voidaan taivutus- ja vetolujuuksien ominaisarvoja korottaa kertoimella k_h .

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} \right. \\ \left. 1,3 \right. \quad (3.1)$$

3.3 Liimapuu

Liimapuusauvojen vaatimukset ovat standardien SFS-EN 14080 ja SFS-EN 386 mukaiset. Liimapuussa käytettävän puutavaran on oltava painekyllästettyä mäntyä.

Homogeenisen liimapuun (merkintä GL_h) lujuusluokat ja niitä vastaavat materiaaliominaisuuksien ominaisarvot on esitetty standardin SFS-EN 1194 'Timber structures. Glue laminated timber. Strength classes and determination of characteristic values' taulukossa 1 ja epähomogeenisen liimapuun (merkintä GL_c) taulukossa 2 sekä yleisimmin käytettyjen lujuusluokkien osalta tämän soveltamisohjeen kohdan 3.8 taulukossa 4.3.

Homogeenisen liimapuun kaikki lamellit ovat saman lujuusluokan puuta. Epähomogeenisessa liimapuussa poikkileikkauksen reunalamellien lujuusluokka on sisälamelleja korkeampi (ks. SFS-EN 1194:1999 taulukko B.2). Esim. liimapuulla GL32c poikkileikkauksen 2h/3 korkea keskialue (h = poikkileikkauksen korkeus) koostuu C30-lamelleista ja h/6 korkeat reuna-alueet C40-lamelleista.

Liimapuun yleisimmiksi standardin EN 1194 mukaisiksi lujuusluokiksi yleistynevät silloissa entistä lujuusluokkaa L40 lähinnä vastaava GL32c ja lujuusluokkaa L30 vastaava GL28c. Standardien EN14080 ja EN 1194 mukaan myös muut ominaisuuksiltaan varmennetut lujuusluokat ovat mahdollisia. Tällä hetkellä Suomessa valmistetaan ja CE-merkitään kotimarkkinoille liimapuuta lujuusluokkaan GL30, jonka materiaaliominaisuudet on esitetty tämän ohjeen kohdan 3.8.3 taulukossa 4.4.

Liimapuun viitteelliset maksimimitat ovat leveys 240 mm (porrastusväli 25 mm), korkeus 2 m ja pituus 30 m. Dimensioiden saatavuus ja palkkien kuljetettavuus on varmistettava valmistaja- ja hankekohtaisesti. Lamellipaksuuden suurin sallittu paksuus käyttöluokassa 2 on standardin SFS-EN 386 'Glued Laminated timber' Table 3 mukaan 45 mm.

Standardin SFS-EN 1194 materiaaliominaisuudet koskevat vain ns. horisontaalista liimapuuta, jonka päätaivutustasossa on vähintään neljä (4 kpl) päällekkäistä lappeellaan olevaa lamellia; vertikaalisen (syrrälleen liimatun) ja enintään kolmilamellisen horisontaalisen liimapuun tuotekohtaiset materiaaliominaisuudet sisältyvät kyseisen tuotteen CE-merkintään.

Jos taivutetun palkin korkeus (h) tai vedetyn sauvan suurempi sivumitta (h) on < 600 mm, voidaan taivutus- ja vetolujuuksien ominaisarvoja korottaa kertoimella k_h .

$$k_h = \min \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \\ 1,1 \end{array} \right. \quad (3.2)$$

Sauvan koon vaikutus syitä vastaan kohtisuoraan vetolujuuteen on otettava huomioon.

3.4 LVL (Laminated Veneer Lumber, Viilupuu)

LVL-tuotteiden vaatimukset ovat standardien EN 14374 ja EN 14279 mukaiset.

LVL-tuotteilla tarkoitetaan vähintään viidestä enintään 6 mm paksusta tuotteen pituussuunnassa yhdensuuntaisesti tai ristikkäin liimatuista lamelleista koostuvia puutuotteita: edelliseen ryhmään kuuluvia ovat esim. kertopuutuotteet Kerto-S ja Kerto-T sekä jälkimmäiseen Kerto-Q.

Pelkästään samansuuntaisista lamelleista koostuvan, poikkileikkaukseltaan suorakaiteen muotoisen LVL-sauvan koon vaikutus taivutus- ja vetolujuuteen on otettava huomioon.

- Taivutuslujuuden ominaisarvo $f_{m,k}$ kerrotaan sauvan koon vaikutuskertoimella k_h

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{300}{h} \right)^s, 1,2 \right\} \quad (3.3)$$

missä h = suorakaidepalkin korkeus
 s = standardin SFS-EN 14374 mukainen eksponentti

- Syyn suuntaisen vetolujuuden ominaisarvo $f_{t,0,k}$ kerrotaan koonvaikutuskertoimella k_ℓ

$$k_\ell = \min \left\{ \left(\frac{3000}{\ell} \right)^{s/2}, 1,1 \right\} \quad (3.4)$$

ℓ = vedetyn LVL-sauvan pituus ja s = standardin SFS-EN 14374 mukainen eksponentti

- LVL-sauvan koon vaikutus syitä vastaan kohtisuoraan vetolujuuteen otetaan huomioon standardin SFS-EN 1995-1-1 kohtien 6.1.3 ja 6.4.3 (6) mukaisesti.

CE-merkittyjen LVL-tuotteiden lujuus- ja jäykkyysominaisuuksien ominaisarvoja on esitetty tuotekohtaisissa standardeissa. Kertopuun materiaaliominaisuuksia on esitetty mm. RIL 205-1-2009 taulukossa 3.5S ja kohdan 3.8 taulukossa 4.2.

3.5 Puulevyt

Puulevyjen vaatimukset ovat standardin SFS-EN 13986 ja LVL-levyjen vaatimukset standardin SFS-EN 14279 mukaiset.

Säänkestävillä liimapuu- ja LVL-levyillä (vanerit) on sillanrakennuksessa yleensä vain sekundäärisiä käyttökohteita rakenteellisena suojauksena, verhoiluna, muottimateriaalina ja jäykisteinä.

Materiaaliominaisuuksia esitetään CE-merkittyjen tuotteiden tuotestandardeissa.

3.6 Liimat

Puusilloissa käytettävien liimojen vaatimukset ovat standardin SFS-EN 301 tyyppin I mukaiset. Liimojen tulee täyttää käyttöluokan 3 olosuhteiden asettamat vaatimukset.

Liimoilla ja liimasaumoilla tulee olla sellainen lujuus ja säilyvyys, että sauma säilyy ehjänä suunnitellussa käyttöluokassa sillan koko elinkaaren ajan.

3.7 Metalliliittimet

Metallisten puikkoliittimien vaatimukset ovat standardin SFS-EN 14592 sekä vaarnojen ja naulalevyjen vaatimukset standardin SFS-EN 14545 mukaiset.

Puusilloissa käytettävillä metalliliittimillä tulee olla viranomaisen tai virallisen tutkimuslaitoksen antama todistus, sertifikaatti, hyväksyntä tai CE-merkintä.

3.8 Puutuotteiden materiaaliominaisuustaulukot

3.8.1 Puun muodonmuutoskertoimet

Taulukko 4.1. Sahatavaran ja liimapuun lämpötila- ja kosteudenmuutoskertoimet (ks. RIL 120-1991 Liite 2 taulukko L. 2.2.4)

Muodonmuutoksen suunta	Muodonmuutoskerroin	
	Lämpötilakerroin [1 / °C]	Kosteudenmuutoskerroin [1 / kosteus-%]
Syyn suuntaan	5×10^{-6}	1×10^{-4}
Vuosirenkaan tangentin suuntaan	45×10^{-6}	30×10^{-4}
Kasvusäteen suuntaan	30×10^{-6}	15×10^{-4}

Kosteusprosentilla tarkoitetaan puun suhteellista kosteutta eli puun sisältämän vesimäärän suhdetta puun kuivapainoon. Kosteudenmuutoskertoimet ovat voimassa puun kosteusskaalan 0...30 % alueella. Suhteellisen kosteuden ylittäessä 30 % kosteusmuutokset eivät enää lisää puun paisumista tai kutistumista. Vuosirenkaan tangentin suuntaan liittyvän puun suuren muodonmuutos- ja halkeiluaalttiuden vuoksi sydänkeskeistä puuta tulee välttää. Tasapainokosteutensa saavuttaneen puun suhteellisen kosteuden ohjeellinen vaihtelu käyttöluokassa 2 on suolakyllästetyllä puulla ± 3 % ja kreosootilla kyllästetyllä puulla $\pm 2,5$ %.

3.8.2 Sahapuun ja LVL-tuotteiden materiaaliominaisuudet

Taulukko 4.2. Yleisimmin käytettyjen sahatavara- ja LVL-tuotteiden materiaaliominaisuudet (ks. SFS-EN 338:2009 taulukko 1 ja RIL 205-1-2009 kertopuu-
taulukko 3.5S)

Lujuus Jäykkyys Tiheys	Koodi	Sahattu havupuutavara			Kertopuu (LVL)		
		C24	C30	C35	Kerto- S	Kerto- T	Kerto-Q 27≤t≤69
Lujuuksien ominaisarvot [N/mm²]							
Taivutus	$f_{m,k}$	24,0	30,0	35,0	44	27	32
Veto II β	$f_{t,0,k}$	14,0	18,0	21,0	35	24	26
	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,8	0,5	6,0
Puristus II β	$f_{c,0,k}$	21,0	23,0	25,0	35	26	26
	$f_{c,90,k}$	2,5	2,7	2,8	6	4	9
Leikkaus	$f_{v,k}$	4,0	4,0	4,0	4,1	2,4	4,5
Jäykkyyksien ominaisarvot [N/mm²]							
Kimmokerroin	E_{mean}	11000	12000	13000	13800	10000	10500
	$E_{0,05}$	7400	8000	8700	11600	8800	8800
	$E_{90,mean}$	370	400	430			
Liukkerroin	G_{mean}	690	750	810	600	400	600
	$G_{0,05}$	460	500	540	400	300	400
Tiheyksien ominais- ja keskiarvot [kg/m³]							
Ominaistiheys	ρ_k	350	380	400	480	410	480
Keskiarvotiheys	ρ_{mean}	420	460	480	510	440	510

Huom. Taulukossa kertopuun ominaislujuudet vastaavat syrjällään olevaa sauvaa; lapsauvojen ja ohuempien Kerto-Q-sauvojen suhteen ks. RIL 205-1-2009 taulukko 3.5S.

3.8.3 Liimapuutuotteiden materiaaliominaisuudet

Taulukko 4.3. Liimapuun materiaaliominaisuudet eurokoodin EN 1194:1999 taulukoiden 1 ja 2 mukaisissa standardilujuusluokissa

Lujuus Jäykkyys Tiheys	Koodi	Epähomogeeninen liima- puu (ks. kpl 3.3)			Homogeeninen liimapuu		
		GL24c	GL28c	GL32c	GL24h	GL28h	GL32h
Lujuuksien ominaisarvot [N/mm²]							
Taivutus	$f_{m,k}$	24,0	28,0	32,0	24,0	28,0	32,0
Veto II β	$f_{t,0,k}$	14,0	16,5	19,5	16,5	19,5	22,5
	$f_{t,90,k}$	0,35	0,4	0,45	0,4	0,45	0,5
Puristus II β	$f_{c,0,k}$	21,0	24,0	26,5	24,0	26,5	29,0
	$f_{c,90,k}$	2,4	2,7	3,0	2,7	3,0	3,3
Leikkaus	$f_{v,k}$	2,2	2,7	3,2	2,7	3,2	3,8

Jäykkyysien ominaisarvot [N/mm ²]							
Kimmokerroin	E_{mean}	11600	12600	13700	11600	12600	13700
	$E_{0,05}$	9400	10200	11100	9400	10200	11100
	$E_{90,\text{mean}}$	320	390	420	390	420	460
Liukukerroin	G_{mean}	590	720	780	720	780	850
	$G_{0,05}$	480	580	630	580	630	690
Tiheyksien ominais- ja keskiarvot [kg/m ³]							
Ominaistiheys	ρ_k	350	380	410	380	410	430
Keskiarvotiheys	ρ_{mean}	390	430	470	420	460	500

Taulukko 4.4. Suomessa käyttöön otetun liimapuun GL30 materiaaliominaisuudet ja niiden vertailu EN 1194 standardilujuusluokkaan GL32.

Lujuus Jäykkyys Tiheys	Koodi	Epähomogeeninen liima- puu		Homogeeninen liimapuu	
		GL30c	GL32c	GL30h	GL32h
Lujuuksien ominaisarvot [N/mm²]					
Taivutus	$f_{m,k}$	30,0	32,0	30,0	32,0
Veto II ρ	$f_{t,0,k}$	20,0	19,5	24,0	22,5
	$f_{t,90,k}$	0,5	0,45	0,5	0,5
Puristus II ρ	$f_{c,0,k}$	25,0	26,5	30,0	29,0
	$f_{c,90,k}$	3,0	3,0	3,0	3,3
Leikkaus	$f_{v,k}$	3,5	3,2	3,5	3,8
Jäykkyysien ominaisarvot [N/mm²]					
Kimmokerroin	E_{mean}	13000	13700	13600	13700
	$E_{0,05}$	10800	11100	11300	11100
	$E_{90,\text{mean}}$	300	420	300	460
Liukukerroin	G_{mean}	650	780	650	850
	$G_{0,05}$	540	630	540	690
Tiheyksien ominais- ja keskiarvot [kg/m³]					
Ominaistiheys	ρ_k	390	410	430	430
Keskiarvotihe- ys	ρ_{mean}	430	470	480	500

- GL 30 c/h ominaisuudet: VTT-S-01554-12 Liimapuun lujuusluokka GL30
- GL 32 c/h ominaisuudet: EN 1194 taulukot 1 ja 2

4 Säilyvyys

4.1 Puun biologinen kestävyys

Puulla ja puutuotteilla tulee olla suunnitelluissa käyttöolosuhteissa riittävä kestävyys standardin SFS-EN 335 mukaisille biologisille riskivaikutuksille. Silloin käytetään standardin SFS-EN 351 kyllästysluokan A vaatimukset täyttävää kyllästettyä puuta ja SFS-EN 599 mukaisia kyllästeitä.

Kreosoottiöljyn käyttö puusilloissa on toistaiseksi sallittua, mutta tahraavana, epäesteettisenä, haju- ja biologisia haittavaikutuksia sisältävänä sen käyttöä on harkittava hankekohtaisesti. Kreosoottiöljyn käyttöä on vältettävä etenkin pohjavesialueilla sijaitsevilla silloissa. Näkyviin jäävissä rakenteissa sen käyttö tulisi ilman rakenteellista suojausta rajoittaa esteettisin perustein lähinnä vain siltapaikkaluokan IV rakenteisiin. Puun työstettyihin pintoihin on imeytettävä kyllästysainetta; suositeltava kyllästysaine on kreosootti suolakyllästetyn puun näkyviin jääviä pintoja lukuun ottamatta.

Kyllästyskäsittelyn mahdollinen vaikutus puun lujuus- ja jäykkyysominaisuuksiin sekä metalliosien säilyvyyteen on otettava huomioon.

Sateen, tuulen ja auringon haittavaikutuksia voidaan torjua lisäksi mm. seuraavasti:

- eliminoimalla vettä keräävät rakennedetailit (kynnykset, painanteet, kolot, raot)
- huolehtimalla pintavesien johtamisesta riittävän kallistuksin ja vedenpoistolaittein
- eliminoimalla kapillaarinen kosteuden imeytyminen puurakenteisiin
- rakenteellisella suojauksella (kotelointi, kattaminen, pintarakenteet)
- huolehtimalla rakenteiden riittävästä tuuletuksesta
- huolehtimalla puun riittävästä suojaetäisyyksistä maahan, veteen ja kasvuun
- sillan ja ympäristön tarkoituksenmukaisilla materiaalivalinnoilla
- sekundäärisellä pintakäsittelyllä (öljypohjaiset maalit ja puunsuoja-aineet)

4.2 Korroosiokestävyys

Metalliliittimien, -kiinnitysten ja -levyjen tulee olla korroosionkestävää materiaalia (ruostumaton teräs) tai ne on suojakäsiteltävä korroosiota vastaan.

Korroosioriskiä lisäävien tekijöiden (suolaus, puun happamuus yms.) ja mahdollisen jännityskorroosion vaikutukset on otettava tarvittaessa huomioon.

Puusilloissa on käytettävä taulukon 5 mukaisia vähintään standardin SFS-EN 1995-1-1 taulukon 4.1 käyttöluokan 3 vaatimukset täyttäviä SFS-EN 10147 luokan Z350 kuumasinkittyä terästuotteita. Teräsosat joiden paksuus ≤ 3 mm on valmistettava ruostumattomasta teräksestä. Teräsosien tulee liittää lukuun ottamatta täyttää myös standardin SFS-EN 1993 mahdolliset ankarammat vaatimukset. Asianomainen viranomainen voi esittää tarvittaessa myös hankekohtaisia vaatimuksia.

Puu/betoni-liittorakenteen betoniosan on täytettävä standardin SFS-EN 1992 vaatimukset.

Lisätietoa on esitetty julkaisussa RIL 205-1-2009 (kpl 4.2).

Taulukko 5. Liitinten korroosiosuojausvaatimukset puusilloissa

Liitin	Käyttöluokat 2 ja 3
Naulat ja ruuvit, pultit, tappivaarnat	Fe / Z350
Teräslevyt, kun paksuus > 3 mm	Fe / Z350
Teräslevyt, kun paksuus ≤ 3 mm	rst

5 Rakenteiden mallintamisperusteet

5.1 Yleistä

Rakenteen kokonaistoiminta analysoidaan kaikki oleelliset muuttujat ja mitoituksellisesti merkittävät liitosvaikutukset sisältävillä rakennemalleilla. Hooken lakiin perustuva lineaarinen materiaalmalli ($\sigma = E \cdot \varepsilon$) soveltuu geometrisesti lineaarisiin ja useimpiin epälineaarisikiin rakennepuolueisiin. Sauvojen voimasuureiden uudelleen jakautumista voidaan tarkastella kimmoplastisin menetelmin, jos liitosten joustavuus ja kestävyys sen sallivat.

5.2 Rakennepuolueet

Standardin SFS-EN 1995 mukaisiin, geometrisesti lineaariseen malliin ja lineaariseen kimmoteoriaan perustuviin puurakenteiden suunnittelumenetelmiin sisältyy sauvojen alkukäyryyden ja materiaalin epähomogeenisuuden (esim. oksaisuus) vaikutus.

Vaihtoehtoinen rakennepuolueesi perustuu rakennepuolueen geometrisesti epälineaariisiin, alkukäyryyden/-vinouden sisältäviin sauvoihin, murtotilan materiaaliominaisuuksiin (E_d , G_d) ja lineaariseen materiaalmalliin.

Poikkileikkausmitoituksissa otetaan huomioon heikennykset (reiät, kolot, lovet) SFS-EN 1995-1-1 kohdan 5.2 (4) mukaisesti lukuun ottamatta seuraavia poikkeuksia:

- ilman esiporausta kiinnitettävät paksuudeltaan ≤ 6 mm naulat ja ruuvit
- puristusvyöhykkeen tiiviisti täytetyt reiät (täyttömateriaali puuta jäykempi/lujempi)

5.3 Liitokset

Liitosten kestävyyttä osoitettaessa:

- liitokset mitoitetaan kohdan 5.1 mukaiseen rakennepuolueeseen ja rakennepuolueesi perustuville liitosvoimasuureille (sauvavoimat, momentit)
- rakennepuolueen liitosten siirtymäominaisuuksien ja rakennepuolueesi tuloksena saatujen muodonmuutosten on oltava yhteensopivia; liitokset voidaan mallintaa siirtymien suhteen jäykkinä, jos syntyvillä siirtymillä ei ole merkittävää vaikutusta sauvojen voimasuureiden jakautumiseen; muussa tapauksessa liitokselle annetaan voima/siirtymä-suhdetta osoittava jousijäykkyys [MN/m, MNm/rad]
- ristikko- ja kehärakenteissa pyritään ensisijaisesti systeemiviivojen keskeisiin liitoksiin, jolloin ristikoiden liitokset voidaan yleensä olettaa niveliksi; systeemiviivojen tulee sijaita sauvan alueella, pääsauvalla keskeisenä painopisteakseliin yhtyen (epäkeskeisten liitosten aiheuttamat voimasuureet on otettava huomioon)

5.4 Kehä- ja ristikkorakenteet

Sauvarakenteiden rakenneanalyysin tulee perustua standardin SFS-EN 1995-1-1 koh-
tien 5.4.2 ... 5.4.4 mukaisiin periaatteisiin.

Standardin SFS-EN 1995-2 kappaleessa 5 on käsitelty mm. laminoituja kansilaattoja,
pyöräkuormien jakautumista sekä liittorakenteiden analysointia. Pyöräkuormien suh-
teen ks. myös tämän ohjeen kohta 2.3.1.1.

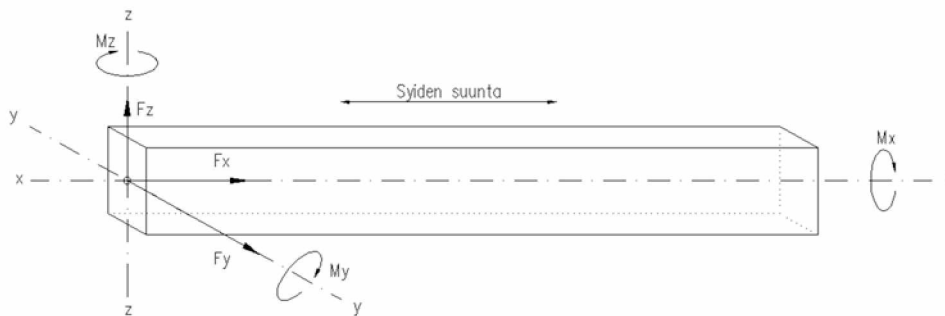
6 Murtorajatilat

6.1 Poikkileikkauksen mitoitus yhdessä pääsuunnassa vaikuttaville jännityksille

6.1.1 Yleistä

Tässä kappaleessa esitetyt säännöt ovat voimassa sahatavarakkeelle, liimapuulle ja muille vakiopoikkileikkauksen omaaville puutuotteille, joiden syyt ovat sauvan pituusakselin suuntaisia.

Sauvakohtainen koordinaatisto on kuvan 3 mukainen.



Kuva 3. Sauvan pääakselit ja voimasuureet

6.1.2 Syiden suuntainen veto

Seuraavan mitoitus ehdon tulee toteutua

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad (6.1)$$

missä $\sigma_{t,0,d}$ = vetojännityksen mitoitusarvo
 $f_{t,0,d}$ = vetolujuuden mitoitusarvo syiden suunnassa

6.1.3 Syitä vastaan kohtisuora veto

Seuraavan mitoitus ehdon tulee toteutua

$$\sigma_{t,90,d} \leq f_{t,90,d}$$

missä $\sigma_{t,90,d}$ = vetojännityksen mitoitusarvo
 $f_{t,90,d}$ = syitä vastaan kohtisuoran vetolujuuden mitoitusarvo

Sauvan koon vaikutus on otettava syitä vastaan kohtisuorassa vedossa huomioon (ks. kerroin k_{vol} kohdassa 6.4.3).

6.1.4 Syiden suuntainen puristus

Seuraavan mitoitus ehdon tulee toteutua

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \quad (6.2)$$

missä

$\sigma_{c,0,d}$ = puristusjännityksen mitoitusarvo

$f_{c,0,d}$ = puristuslujuuden mitoitusarvo

Nurjahdus- ja kiepahdusalttiin puristetun ja taivutetun sauvan mitoitus säännöt on esitetty kappaleessa 6.3.

6.1.5 Syitä vastaan kohtisuora puristus

Seuraavan mitoitus ehdon tulee toteutua

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d} \quad (6.3)$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \quad (6.4)$$

missä

$\sigma_{c,90,d}$ = tehollisen pinta-alan A_{ef} syitä vastaan kohtisuora mitoittava puristusjännitys

$f_{c,90,d}$ = syitä vastaan kohtisuoran puristuslujuuden mitoitusarvo

$k_{c,90}$ = kuormasijainnista, halkeiluriskistä ja puristumasta riippuva tukikerroin

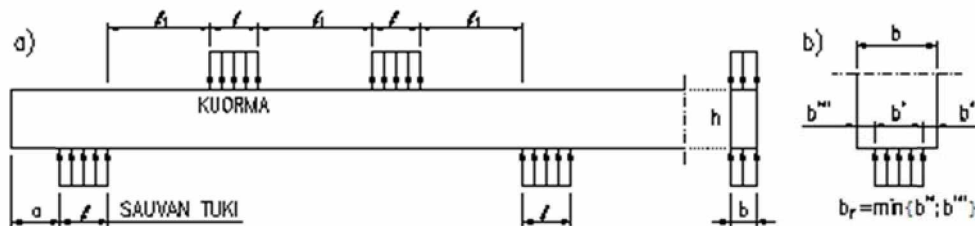
$F_{c,90,d}$ = tehollisen pinta-alan A_{ef} syitä vastaan kohtisuora mitoittava voima/kuorma.

$A_{ef} = l_{ef} b_{ef}$ = tehollinen kuormitus pinta-ala = (tehollinen pituus) x (tehollinen leveys)

Tukipainekertoimen perusarvo on $k_{c,90} = 1$. Kun palkki tukeutuu kuvan 4a mukaisesti erillisille tuille ja $l_1 \geq 2h$, käytetään kertoimelle standardin EN 1995-1-1 kohtien 6.1.5 (3) ja (4) korotettuja arvoja $k_{c,90} = 2,5$ havupuulle ja $k_{c,90} = 1,75$ liimapuulle, kun tukipinta $l \leq 400$ mm.

Tehollinen kuormitus pituus (l_{ef}) voidaan standardin SFS-EN 1995-1-1 kohtaa 6.1.5 (1) soveltaen laskea lausekkeesta $l_{ef} = l + 2 \min\{30 ; a ; l ; l_1\}$, missä l on kuormitus pinnan todellinen pituus, a on kuormittamaton uloke pituus ja l_1 kuormittamaton kuormaväli (kuva 4a).

Standardissa SFS-EN 1995-1-1 on käsitelty vain kiskopainetapausta, jossa kuormituksen on oletettu vaikuttavan sauvan koko leveydellä. Leimapaineen tehollinen leveys voidaan laskea lausekkeesta $b_{ef} = b' + 2 \min\{30 ; b' ; b_r\}$, missä b' on kuormitus pinnan todellinen leveys ($b' < b$) ja b_r on pienempi kuormitus pinnan palkin sivutasojen väliin jäävistä kuormittamattomista leveyksistä (kuva 4b).



Kuva 4. a) Erillistuilla olevan palkin kiskopaine b) leimapaine

Huom. Syitä vastaan kohtisuoran puristuslujuuden laskennassa käytettävän osavarmuusluvut on esitetty tämän ohjeen kohdassa 2.4.1.

6.1.6 Taivutus

Seuraavien mitoitusehtojen tulee toteutua

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.11)$$

ja

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.12)$$

missä: $\sigma_{m,y,d}$ ja $\sigma_{m,z,d}$ = taivutusjännitykset taivutuksesta y- ja z-akselien ympäri
 $f_{m,y,d}$ ja $f_{m,z,d}$ = taivutuslujuuksien vastaavat mitoitusarvot

Suorakaidepoikkileikkauksille kerroin $k_m = 0,7$ ja muille poikkileikkauksille $k_m = 1$.

Sauvojen muoto- ja asennusvirheistä johtuvat epälineaariset vaikutukset on otettava huomioon joko epäsuorasti standardin SFS-EN 1995-1-1 kohdan 6.3 mukaan tai rakennemallin lähtötiedoissa kohdan 5.4.4 (2) mukaisessa rakenneanalyyysissä, jolloin sauvan alkuepätkäkkyyksien vaikutus sisältyy voimasuuriin ja mitoitus ehdot perustuvat ainelujuuteen (kohdan 6.3 mitoituskerroimet $k_{c,y} = k_{c,z} = k_{crit} = 1$).

6.1.7 Leikkaus

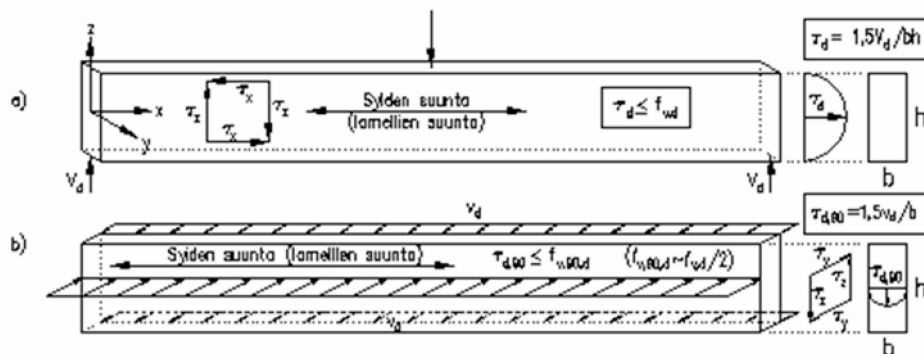
Seuraavien syiden suuntaisissa tasoissa vaikuttavia leikkausjännityksiä (kuva 5) koskevien mitoitusehtojen tulee toteutua:

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (6.13)$$

$$\tau_{d,90} \leq f_{v,90,d}$$

missä τ_d = syiden suuntaisen leikkausjännityksen mitoitusarvo
 $f_{v,d}$ = syiden suuntaisen leikkauslujuuden mitoitusarvo (kuva 5a)
 $\tau_{d,90}$ = syitä vastaan kohtisuoran leikkausjännityksen mitoitusarvo [N/m]
 $f_{v,90,d}$ = syitä vastaan kohtisuoran leikkauslujuuden mitoitusarvo

Sahatavara- ja liimapuusauvan halkeilun vaikutus leikkauskestävyyteen on otettava tarvittaessa huomioon käyttämällä mitoituksessa sauvan tehollista leveyttä $b_{ef} = 0,67 b$. Käyttöluokissa 2 ja 3 halkeiluriskiä ei yleensä katsota olevan ja voidaan käyttää redusoimatonta leveyttä $b_{ef} = b$.



Kuva 5. Syrjällä olevan taivutetun sauvan primäärinen kuormitustilanne (a), jossa xy-vaakatasossa syiden suuntainen leikkausjännitys (τ_x) ja yz-pystytasossa syitä vastaan kohtisuora leikkausjännitys (τ_z) ja sekundäärinen y-suuntainen kuormitustilanne (b), jossa sekä xy-vaakatasossa että xz-pystytasossa syitä vastaan kohtisuorat leikkausjännitykset (τ_y ja τ_z).

Standardin SFS-EN 1995-1-1 kohtaan 6.1.7 (3) ja standardin kuvaan 6.6 viitaten leikkausvoiman mitoitusarvona voidaan puusilloissa käyttää tuen reunasta etäisyydellä h vaikuttavaa arvoa, mikäli pääosa sauvan kuormasta on sauvan pituudelle jakautunutta. Termi h on tuen ja kuorman välisen sauvaosan minimikorkeus. Kohdan 6.5.2 kuvan 8 mukaisilla lovetuilla sauvoilla sekä leikkausvoiman suhteen dominoivien piste-kuormien tapauksissa mitoittava leikkausvoimana käytetään arvoa, joka vaikuttaa tuen reunan kohdalla. Pistekuormitus katsotaan dominoivaksi, jos sen osuus mitoittavasta leikkausvoimasta V_d on $> 50 \%$.

6.1.8 Vääntö

Seuraavan mitoitus ehdon tulee toteutua

$$\tau_{\text{tor,d}} \leq k_{\text{shape}} f_{v,d} \quad (6.14)$$

missä $\tau_{\text{tor,d}}$ = väännöstä (M_x) aiheutuvan leikkausjännityksen mitoitusarvo
 $f_{v,d}$ = leikkauslujuuden mitoitusarvo
 k_{shape} = poikkileikkauksen muotokerroin

$$k_{\text{shape}} = \begin{cases} 1,2 & \text{ympyräpoikkileikkaukselle} \\ \min \left\{ 1+0,15 \frac{h}{b}, 2,0 \right\} & \text{suorakaidepoikkileikkaukselle} \end{cases} \quad (6.15)$$

missä h = poikkileikkauksen suurempi sivumitta
 b = poikkileikkauksen pienempi sivumitta

6.2 Jännityskomponenttien yhdistäminen

6.2.1 Yleistä

Tässä kappaleessa esitetyt säännöt ovat voimassa sahatavaralle, liimapuulle ja muille vakiopoikkileikkauksen omaaville puutuotteille, joiden syyt ovat sauvan pituusakselin suuntaisia. Kuormitusyhdistelmistä aiheutuvien tai sauvan kahden tai kolmen pääakselin suunnassa vaikuttavien jännitysten yhteisvaikutus tulee ottaa huomioon.

6.2.2 Syysuuntaan kulmassa α vaikuttavien puristusjännitysten mitoitusehto

Seuraavan mitoitus ehdon tulee toteutua

Standardin SFS-EN 1995-1-1 kuvan 6.7 mukaisessa kuormitustapauksessa ($\alpha < 90^\circ$)

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (6.16)$$

missä $\sigma_{c,\alpha,d}$ = puristusjännityksen mitoitusarvo kulmassa α syiden suunnan suhteen

$f_{c,0,d}$ = syiden suuntaisen puristuslujuuden mitoitusarvo

$f_{c,90,d}$ = syitä vastaan kohtisuoran puristuslujuuden mitoitusarvo

$k_{c,90}$ = kohdan 6.1.5 mukainen tukipaine kerroin

6.2.3 Taivutuksen ja vedon yhteisvaikutus

Seuraavien mitoitus ehtojen tulee toteutua

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.17)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.18)$$

Kertoimelle k_m käytetään kohdan 6.1.6 mukaisia arvoja.

6.2.4 Taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutus

Seuraavien mitoitus ehtojen tulee toteutua

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.19)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.20)$$

Kertoimelle k_m käytetään kohdan 6.1.6 mukaisia arvoja.

Mikäli sauvan stabiilius on otettava huomioon, tulee käyttää kappaleen 6.3 menetelmiä.

6.3 Puristetut ja taivutetut sauvat

6.3.1 Yleistä

Tässä kappaleessa esitetyt säännöt ovat voimassa sahatavarasta, liimapuusta ja LVL:stä valmistetuille vakiopoikkileikkauksen omaaville puutuotteille, joiden syyt ovat sauvan pituusakselin suuntaisia.

Alkukaarevuudesta, perusepäkeskisyydestä ja muista alkuepäätarkkuuksista johtuvat lisätaivutusjännitykset on otettava kestävyystarkasteluissa huomioon. Rakenneara-analyyseissä ja mitoituksessa käytetään standardin SFS-EN 1995-1-1 kohdan 10.2 (1) mukaisia alkukäyryyden raja-arvoja, jotka ovat sahatavarasaualle $L/300$ ja liimapuusekä LVL-sauualle $L/500$.

Rakenteita voidaan kohdan 6.3 mukaisen menettelyn sijasta tarkastella vaihtoehtoisesti myös geometrisesti epälineaarisina SFS-EN 1995-1-1 kohdan 5.4.4 periaatteiden mukaisesti alkuepäätarkkuudet sisältävällä rakennemallilla ja mitoittaa kohdan 6.2 mitoitusääntöjen mukaan.

6.3.2 Puristetun ja taivutetun sauuan kestävyys nurjahdusriski huomioon ottaen

Sauuan suhteelliset hoikkuudet ($\lambda_{rel,i}$) y- tai z-akselin suuntaisessa nurjahduksessa saadaan lausekkeista (6.21) ja (6.22) seuraavasti:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad \text{ja} \quad (6.21)$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (6.22)$$

missä

λ_y ja $\lambda_{rel,y}$ = hoikkuusluku ja suhteellinen hoikkuus z-akselin suunnassa (taivutus M_y)

λ_z ja $\lambda_{rel,z}$ = hoikkuusluku ja suhteellinen hoikkuus y-akselin suunnassa (taivutus M_z)

$\lambda_y = L_{c,y} / i_y$, $L_{c,y}$ on nurjahduspituus ja i_y hitaussäde z-akselin suuntaisessa nurjahduksessa

$\lambda_z = L_{c,z} / i_z$, $L_{c,z}$ on nurjahduspituus ja i_z hitaussäde y-akselin suuntaisessa nurjahduksessa

$f_{c,0,k}$ = puristuslujuuden ominaisarvo

$E_{0,05}$ = kimmokertoimen ominaisarvo

Jos sekä $\lambda_{rel,y} < 0,3$ että $\lambda_{rel,z} < 0,3$, mitoitetaan sauva standardin kohdan 6.2.4 mitoitussehtojen perusteella (ei nurjahdusvaaraa). Kaikissa muissa tapauksissa sauva mitoitetaan geometrisesti epälineaarisena alkuepätkäarkkuuksista ja lisätaipumista aiheuttavat lisäjännitykset huomioon ottaen.

Seuraavien mitoitussehtojen tulee toteutua

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.23)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.24)$$

Kertoimelle k_m käytetään kohdan 6.1.6 mukaisia arvoja.

Nurjahduskertoimille $k_{c,y}$ ja $k_{c,z}$ on voimassa lausekkeet

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (6.25)$$

missä $k_y = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (6.26)$$

missä $k_z = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$

Kerroin $\beta_c = 0,2$ sahatavaralle sekä $\beta_c = 0,1$ liimapuulle ja LVL:lle edellyttäen, että standardin EN 1995-1-1 kohdan 10.2 (1) alkukäyryyden raja-arvot eivät ylitä.

Puristetun sauvan hoikkuuden suurin sallittu arvo on $\lambda = 170$.

Taulukko 6. Puisen puristussauvan (pituus L) suositeltavat nurjahduspituudet (L_c)

Sauvan tuentatapa	Sivusiirtymä	Nurjahduspituus L_c
Molemmat päät kiinnitetty	Estetty	0,7 L
Molemmat päät kiinnitetty	Vapaa	1,5 L
Molemmissa päissä nivel	Estetty	1,0 L
Toisessa päässä jäykkä kiinnitys, toisessa nivel	Estetty	0,85 L
Toisessa päässä jäykkä kiinnitys, toinen vapaa (uloke)	Estetty	2,5 L
Nurjahdustuenta vakio välein (a)	Estetty	1,0 a
Kehäsauvojen nurjahduspituuksia on esitetty RIL 205-1-2009 kohdan 6.3.2 taulukossa 6.2S.		

6.3.3 Taivutetun ja puristetun sauvan kestävyys kiepahdusriski huomioon ottaen

Vahvemmassa suunnassa taivutetun ja puristetun sauvan kestävyys tulee tarkastella taivutusmomentin M_y ja puristavan normaalivoiman N_c yhdistelmälle huomioon ottaen kiepahdus ja nurjahdus.

Taivutetun sauvan suhteellinen hoikkuus kiepahduksen suhteen on

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad (6.30)$$

missä $f_{m,k}$ = taivutuslujuuden ominaisarvo
 $\sigma_{m,crit}$ = kriittinen taivutusjännitys kiepahduksen suhteen

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \sqrt{E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{tor}}}{\ell_{ef} W_y} \quad (6.31)$$

$M_{y,crit}$ = kriittinen kiepahdusmomentti (taivutus y-akselin ympäri)
 W_y = vahvemman suunnan taivutusvastus (taivutus y-akselin ympäri)
 $E_{0,05}$ ja $G_{0,05}$ = kimmo- ja liukukertoimien ominaisarvot syyn suuntaisessa kuormituksessa
 I_z = heikomman suunnan jäyhyysmomentti (taivutus z-akselin ympäri)
 I_{tor} = vääntöjäyhyysmomentti
 ℓ_{ef} = taulukon 7 mukainen palkin tehollinen pituus

Poikkileikkaukseltaan suorakaiteen (korkeus h , leveys b) muotoisen havupuupalkin kriittinen taivutusjännitys $\sigma_{m,crit}$ kiepahduksen suhteen voidaan laskea lausekkeesta

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 b^2}{h \ell_{ef}} E_{0,05} \quad (6.32)$$

RIL 205-1-2009 kohdassa 6.3.3 kaava on esitetty yleisessä muodossa

$$\sigma_{m,crit} = \frac{c b^2 E_{0,05}}{h \ell_{ef}}$$

missä c =

0,78	sahatavaralle ja homogeeniselle liimapuulle
0,71	liimapuulle lujuusluokissa GL24c, GL28c, GL32c
0,67	Kerto-Q LVL:lle
0,58	Kerto-S ja Kerto-T LVL:lle

Taulukko 7. Tehollisen ja todellisen pituuden suhde (l_{ef}/l) kiepahdustarkastelussa

Sauvan kuormitustyyppi	Sauvan tuenta	Pituussuhde l_{ef}/l
Vakiomomentin kuormittama sauva	Vapaasti tuettu	1,0
Sauvalla tasainen kuorma	Vapaasti tuettu	0,9
Pistekuorma jänteen keskellä	Vapaasti tuettu	0,8
Ulokeseauvalla tasainen kuorma	Vapaa uloke	0,5 (1,0) *)
Pistekuorma ulokkeen päässä	Vapaa uloke	0,8 (1,0) *)
Vakiomomentin kuormittama uloke-sauva	Vapaa uloke	2,0
Taulukon ehdot: <ul style="list-style-type: none"> • sauvan kiertymä pituusakselinsa ympäri on estetty tuilla ja ulokkeen päässä • kuormitus vaikuttaa painopisteen korkeudella 		
Jos sauvan puristettu reuna on tuettu varsinaisten tukien välillä sivusuunnassa vakiovälein a , voidaan tehollisena pituutena käyttää $l_{ef} = a + 2h$.		
Kuormituskorkeuden vaikutus teholliseen pituuteen: <ul style="list-style-type: none"> • tehollista pituutta kasvatetaan $2h$ verran, jos kuormitus vaikuttaa puristetun reunan korkeudella • tehollista pituutta pienennetään $h/2$ verran, jos kuormitus vaikuttaa vedetyn reunan korkeudella 		

*) RIL 205-1-2009 mukaan suositellaan käytettäväksi suluissa olevaa arvoa

Vahvemmassa suunnassa taivutetun (momentti M_y) sauvan tapauksessa seuraavan mitoitus ehdon tulee toteutua.

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} \quad (6.33)$$

missä

$\sigma_{m,d}$ = taivutusjännityksen mitoitusarvo

$f_{m,d}$ = taivutuslujuuden mitoitusarvo

k_{crit} = kiepahdusriskistä johtuva lujuuden pienennyskerroin

RIL 205-1-2009 kohdan 6.3.3 kuvassa 6.10S on esitetty sahatavarasta tai liimapuusta valmistettujen suorakaidepalkkien k_{crit} - kiepahduskäyriä suhteen l_{ef}/b funktiona.

Kerroin k_{crit} standardin SFS-EN 1995-1-1 kohdan 10.2 kaarevuusehdot täyttävillä palkkeille:

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{kun } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} & \text{kun } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{kun } \lambda_{rel,m} > 1,4 \end{cases} \quad (6.34)$$

Kerroin $k_{crit} = 1$, jos palkki ei pääse kiertymään tuilla yz-tasossa ja palkin puristetun reunan y-suuntainen tuenta aukossa täyttää lisäksi kohdan 6.3.2 nurjahdusehdon $\lambda_{rel,z} < 0,3$.

Vahvemmassa suunnassa taivuttavan momentin M_y ja puristavan normaalivoiman N_c vaikuttaessa tulee seuraavan, kiepahdus- ja nurjahdusriskin huomioivan mitoitus-ehdon toteutua

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (6.35)$$

missä $k_{c,z}$ on kohdan 6.3.2 kaavan (6.26) mukainen nurjahduskerroin.

6.4 Pulpettipalkin ja kaarevan palkin mitoitus

6.4.1 Yleistä

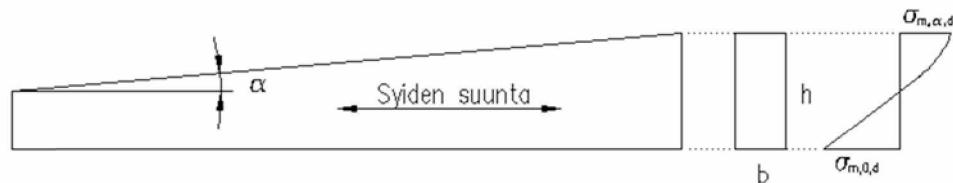
Normaalivoiman ja taivutusmomentin yhteisvaikutus on otettava huomioon ja kohtien 6.2 ja 6.3 mitoitusehtojen tulee täyttyä.

Poikkileikkausalan (A) normaalijännitys (σ_N) normaalivoimasta (N) lasketaan kaavasta

$$\sigma_N = \frac{N}{A} \quad (6.36)$$

6.4.2 Pulpettipalkit

Viisteen vaikutus pinnan suuntaisiin taivutusjännityksiin on otettava huomioon.



Kuva 6. Korkeudeltaan muuttuva pulpettipalkki

Kuvan 6 mukaisen suorakaidepoikkileikkauksen reunojen taivutusjännitysten mitoitusarvot momentista M_d voidaan laskea normaalisti taivutusvastuksen avulla kaavasta

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \sigma_{m,0,d} = \frac{6M_d}{b h^2} \quad (6.37)$$

Seuraavan viistetyn reunaa koskevan mitoitusehdon tulee toteutua

$$\sigma_{m,\alpha,d} \leq k_{m,\alpha} f_{m,d} \quad (6.38)$$

$\sigma_{m,\alpha,d}$ = syiden suunnan suhteen kulmassa α vaikuttavan taivutusjännityksen mitoitusarvo

$\sigma_{m,0,d}$ = viistämättömän reunan taivutusjännityksen mitoitusarvo

$f_{m,d}$ = taivutuslujuuden mitoitusarvo

$k_{m,\alpha}$ = lujuuden pienennyskerroin, joka saadaan vetojännityksille kaavasta

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{0,75 f_{v,d}} \tan \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{t,90,d}} \tan^2 \alpha \right)^2}} \quad (6.39)$$

ja puristusjännityksille kaavasta

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1,5 f_{v,d}} \tan \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \tan^2 \alpha \right)^2}} \quad (6.40)$$

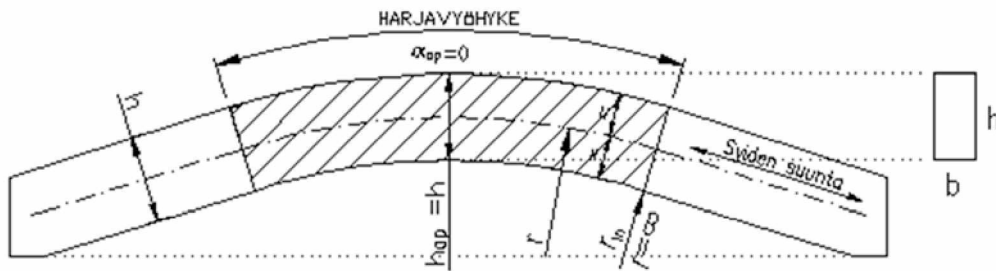
Viistämättömän reunan taivutusjännityksiä koskee normaali mitoitusehto:

$$\sigma_{m,0,d} \leq f_{m,d}$$

6.4.3 Kaarevat palkit

Standardin SFS-EN 1995-1-1 kohdan 6.4.3 säännöt ovat voimassa vain liimapuusta ja LVL:stä valmistetuille korkeudeltaan muuttuville ja alapinnaltaan suorille tai kaareville harjapalkeille sekä kaareville palkeille, kun puusyyt ovat sauvan pituusakselin suuntaisia.

Tässä soveltamisohjeessa käsitellään vain puisissa palkkisilloissa yleisesti käytettyjä kuvan 7 mukaisia tasakorkeita kaarevia palkkeja. Harjapalkkien osalta voidaan soveltaa edellä mainittua standardin kohtaa.



Kuva 7. Tasakorkea kaareva liimapuupalkki

- Harjavyöhykkeen (kuvan kaareva rasteroitu osa) taivutusjännitysten mitoitusehto:

$$\sigma_{m,d} \leq k_r f_{m,d} \quad (6.41)$$

missä k_r on lamellien taipumisesta johtuva lujuuden pienennyskerroin.

Taivutusjännitys harjan kohdalla vaikuttavasta momentista $M_{ap,d}$ lasketaan kaavasta

$$\sigma_{m,d} = k_y \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2} \quad (6.42)$$

$$k_r = k_1 + k_2 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^3 \quad (6.43)$$

, missä (kaavat (6.44)...(6.48))

$$k_4 = 6 \tan^2 \alpha_{ap}$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \tan \alpha_{ap} + 5,4 \tan^2 \alpha_{ap}$$

$$r = r_{in} + 0,5 h_{ap}$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \tan \alpha_{ap}$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \tan \alpha_{ap} - 7,8 \tan^2 \alpha_{ap}$$

Kerroin $k_r = 1,0$ alapinnaltaan suorilla palkeilla ja alapinnaltaan kaarevilla palkeilla, joilla suhde $r_{in}/t \geq 240$ (t = lamellin paksuus). Muissa tapauksissa kerroin k_r lasketaan kaavasta:

$$k_r = 0,76 + \frac{r_{in}}{1000 t} \quad (6.49)$$

- Harjavyöhykkeen syitä vastaan kohtisuoran vetojännityksen $\sigma_{t,90,d}$ mitoitusehto:

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d} \quad (6.50)$$

missä

$k_{dis} = 1,4$ = jännitysjakautumakerroin kaareville palkeille

$f_{t,90,d}$ = syitä vastaan kohtisuoran vetolujuuden mitoitusarvo

harjavyöhykkeen tilavuuskerroin (k_{vol}) on:

$k_{vol} = 1,0$ sahataralle

$k_{vol} = (V_0/V)^{0,2}$ liimapuulle ja LVL-tuotteille

missä $V_0 = 0,01 m^3$ = vertailutilavuus

V = harjavyöhykkeen jännityksen alainen tilavuus (ks. kuva 7)
(huom! V rajoitetaan arvoon $2/3 V_b$)

V_b = palkin kokonaistilavuus

- Mitoitusehto syitä vastaan kohtisuoran vedon ja leikkauksen yhteisvaikutukselle:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} \leq 1 \quad (6.53)$$

τ_d = leikkausjännityksen mitoitusarvo

$\sigma_{t,90,d}$ = vetojännityksen mitoitusarvo

$f_{v,d}$ ja $f_{t,90,d}$ = leikkaus- ja syitä vastaan kohtisuoran vetolujuuden mitoitusarvot

Harjan kohdalla vaikuttavan taivutusmomentin $M_{ap,d}$ kuperaan reunaan aiheuttaman taivutusvetojännityksen syitä vastaan kohtisuoran vetojännityskomponentin suurin arvo voidaan laskea kaavalla (6.54) tai (6.55). Kaavan (6.54) käyttöä suositellaan.

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2} \quad (6.54)$$

$$\sigma_{t,90,d} = \frac{k_p 6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2} - 0,6 \frac{p_d}{b} \quad (6.55)$$

missä p_d = harjan alueella palkin yläpintaan vaikuttava tasaisesti jakautunut kuorma

$$k_p = k_5 + k_6 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 \quad (6.56)$$

missä kertoimien $k_5 \dots k_7$ yleiset lausekkeet ja lukuarvot kaarevalle palkille (kun $\tan \alpha = 0$) ovat

$$k_5 = 0,2 \tan \alpha_{ap} = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \tan \alpha_{ap} + 2,6 \tan^2 \alpha_{ap} = 0,25$$

$$k_7 = 21 \tan \alpha_{ap} - 4 \tan^2 \alpha_{ap} = 0$$

täten kaarevalle palkille $k_p = 0,25 h_{ap} / r$

6.5 Lovetut sauvat

6.5.1 Yleistä

Loven kohdalla vaikuttavat jännityshuiput on otettava kestävyystarkasteluissa huomioon kuvan 8 a) mukaisessa tapauksessa, jossa momentti (M) aiheuttaa loven puoleisella reunalla loven alkamiskohdalla (h_{ef}) taivutusvetojännityksiä ja kun loven viistekaltevuus on suurempi (jyrkempi) kuin 1:10. Taivutuspuristusjännityshuiput sekä syiden suuntaisen normaalivoiman (N) veto- tai puristusjännityshuiput (kuva 8 b) voidaan jättää huomiotta.

6.5.2 Tuen kohdalla lovetut palkit

Lovettuja palkkeja ei suositella käytettäväksi puusilloissa. Jos lovettuja palkkeja joudutaan erikoistapauksissa käyttämään, tulee loven viistekaltevuuden olla 1:5 tai loivempi.

Tuella olevan loven kohdalla vaikuttavasta leikkausvoimasta (V) syntyvä leikkausjännitys lasketaan käyttämällä kuvan 8 mukaista tukialueen tehollista korkeutta (h_{ef}).

Leikkausjännitysten mitoitusehto:

$$\tau_d = \frac{1,5 V}{b h_{ef}} \leq k_v f_{v,d} \quad (6.60)$$

b ja h_{ef} = poikkileikkauksen leveys ja tehollinen korkeus

τ_d = leikkausjännityksen mitoitusarvo

$f_{v,d}$ = leikkauslujuuden mitoitusarvo

k_v = pienennyskerroin, jonka arvo on:

$k_v = 1$, jos loveus ja tuki sijaitsevat palkin vastakkaisilla puolilla (6.61)

$k_v \leq 1$ saadaan kaavasta (6.62), jos loveus ja tuki sijaitsevat palkin samalla puolella

$$k_v = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{k_n \left(1 + \frac{1,1 i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \left(\sqrt{\alpha (1 - \alpha)} + 0,8 \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} \end{array} \right. \quad (6.62)$$

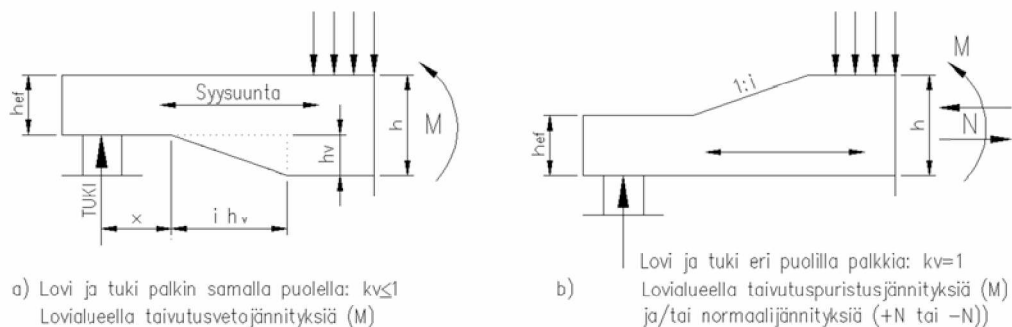
missä $k_n=5$ sahatavaralle, $k_n=6,5$ liimapuulle, $k_n=4,5$ LVL:lle,
 $k_n=6$ Kerto-S:lle ja $k_n=16$ Kerto-Q:lle [RIL 205-1-2009 6.5.2]

i = loven kaltevuus

$\alpha = h_{ef}/h$

h = palkin loveamaton korkeus [mm]

x = etäisyys tuen keskilinjasta loven alkuun [mm]



Kuva 8. Tuen vaikutusalueella lovettu palkki

Livialueen mahdollisia vahvistamistapoja ovat liimatangot, jatkuvakiererruuvit ja liimalevyt. Lisäohjeita esitetään mm. suunnitteluohjeen RIL205-1-2009 kohdassa 6.5 ja liimatankojen suhteen tämän ohjeen kohdassa 8.11.

6.6 Useasta pääsauvasta ja poikittaisesta sekundäärisauvasta koostuvan systeemin kestävyys

Kohdan 6.6 sääntöjä sovelletaan sekundäärisillä poikittaisrakenteilla varustettuihin liimapuupalkkisiltoihin. Sekundäärisinä poikittaisrakenteina voivat toimia poikkipalkit, syrjälankkukansi, liimapuinen lamellikansi ja liittorakenteessa betonilaatta.

Edellä mainituilla poikittaisrakenteilla yhdistettyjen identtisten, vakiovälein sijaitsevien rinnakkaisten päärakenneosien (primääriset liimapuupalkit) kestävyysominaisuudet voidaan kertoa kuorman jakoluvulla $k_{sys} = 1,1$ edellyttäen, että:

- poikittaisrakenteet kykenevät jakamaan kuormia päärakenneosien kesken
- yhdistettäviä $\leq 1,2$ m vakiovälein sijaitsevia päärakenneosia on ≥ 4 kpl, kun poikittaisrakenteessa ei ole jatkoksia ja ≥ 6 kpl, kun poikittaisrakenne sisältää jatkoksia; liimattua lamellikansielementtiä voidaan tarkastella jatkamattomana
- erillisten poikkipalkkien keskinäinen etäisyys \leq päärakenneosien vastaava etäisyys
- yksittäiset jatkamattomat poikittaissauvaelementit (syrjälankut, poikkipalkit) ovat jatkuvia vähintään 2-aukkoisina yhdistäen vähintään kolmea päärakenneosaa
- vierekkäisten poikittaissauvojen jatkokset eivät ole samalla kohdalla
- kuormitus on kestoaltaan lyhytaikainen tai hetkellinen
- tarkastelualueita rajoittavat poikittaisrakenteen vapaat reunat tai sillansuuntainen koko poikittaisrakenteen jatkoslinja (kaikkien sauvojen jatkokset samalla kohdalla).

Nauloin tai ruuvein yhdistettyjen lamellikansien kuormanjakoluku vaihtelee välillä $1 \leq k_{sys} \leq 1,1$ sekä liimaamalla tai esijännittämällä yhdistetyillä lamellikansilla välillä $1 \leq k_{sys} \leq 1,2$ standardin SFS-EN 1995-1-1 kuvan 6.12 mukaisesti kuormitettujen lamellien lukumäärästä riippuen. Maksimiavot saavutetaan, kun kuormitettuja lamelleja on ≥ 8 kpl.

Siltojen lamellikansien rakenneanalyysiä ja mitoitusta koskevia lisäohjeita on esitetty standardin SFS-EN 1995-2 kohdissa 1.5.2.2, 5.1 ja 6.1.1.

Esijännitettyjä lamellikansia käsitellään tämän ohjeen kohdassa 6.9.

Liittorakenteita käsitellään tämän ohjeen kohdassa 8.12.

6.7 Väsyminen

Standardin SFS-EN 1995-2 kohdan 6.2 mukaan rakenteet, rakenneosat ja liitokset tulee mitoittaa liikenteen ja/tai tuulikuorman aiheuttamille toistuville jännitysvaihteille siten, ettei väsyminen aiheuta niihin merkittäviä vaurioita elinkaaren aikana. Standardi SFS-EN 1995-1-1 ei käsittele väsytystä.

Kevyen liikenteen ja useimpien ajoneuvoliikenteen puusiltojen väsyminen voidaan yleensä jättää tarkastelujen ulkopuolelle. Vilkkaan raskaan liikenteen kuormittamien tiesiltojen väsymisriski ja siihen vaikuttavat tekijät, kuten siltatyyppi, rakenneratkaisut ja liikenneluokka tulee arvioida yleisellä tasolla. Asianomainen viranomainen päättää hankekohtaisesti väsymistarkastelun tarpeellisuudesta.

Standardin SFS-EN 1995-2 kansallisen liitteen (LVM) kohdan 7.3.1. mukaan ko. standardin liitteen A mukaista yksinkertaistettua väsymistarkastelua voidaan käyttää sil-lansuunnittelussa opastavana. Menetelmä perustuu ekvivalenttiin vakioamplitudiseen väsytyskuormaan, joka vastaa todellisen liikenteen väsyttävää kokonaisvaikutusta.

Väsytyskuormia ja liikenneluokkia on käsitelty standardissa SFS-EN 1991-2 ja sen kansallisessa liitteessä (LVM) sekä Liikenneviraston soveltamisohjeen 'NCCI 1 – Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet' kohdassa B.4.6. Väsytyskuormana käytetään yleensä standardin SFS-EN 1991-2 kuvan 4.8 mukaista väsytyskuormakaaviota FLM₃.

6.8 Palkkien reiät

Suunnittelussa sovelletaan Puurakenteiden suunnitteluohjeen RIL 205-1-2009 kohtaa 6.7S viittauksineen (DIN 1052:2008-12 ja VTT:n sertifikaatti nro 184/03). Liitinreikien ja muiden pienten reikien reikävähennykset on otettava huomioon kohdan 5.2 mukaisesti.

6.9 Poikittain jännitetyt lamellikannet

Esijännitettyjen, standardin SFS-EN 1995-2 kohdissa 1.5.2.3 ja 6.1.2 käsiteltyjen lamellikansien toiminta perustuu lamellien väliseen kitkavaikutukseen. Pitkäaikaista ($t = \infty$) esijännitysvoimaa vastaavan kitkan tulee olla riittävä estämään lamellien välinen liukuminen, ts. mitoitusleikkausvoiman $F_{v,Ed}$ kuormittaman h-korkuisen lamellisauman tulee täyttää ehto:

$$F_{v,Ed} \leq \mu_d \sigma_{p,min} h \text{ [MN/m]}$$

Suunnittelussa on otettava huomioon mm. seuraavat materiaaliominaisuuksiin, jännittämis- ja käyttöolosuhteiden välisiin eroihin sekä olosuhdemuutoksiin liittyvät erityispiirteet.

- puun kosteus jännittämisvaiheessa 12–16 %, käyttöolosuhteissa kosteusluokka 2
- jännittämisaste (jännittämishetkellä ≥ 1 MPa, jäännösjännitys $\sigma_{p,min} \geq 0,35$ MPa)

- paikallinen puristus (leimapaine) ja kokoonpuristuma puussa ankkurilaattojen alla
(kertoimelle $k_{c,90}$ voidaan käyttää kohdan 6.1.5 kaavassa (6.3) arvoa $k_{c,90}=1,3$)
- tankojen jännitykset ja murtovenymä (jännehäviöt ja kannen turpoamisreservi)
- lyhyt- ja pitkäaikaishäviöiden (viruma, relaksaatio), puun kosteusmuutosten ja jännetankojen lämpötilamuutosten vaikutus jännevoimaan ja tankojen kestävyys
- käytetään standardin SFS-EN 1995-2 taulukossa 6.1 annettuja kitkakertoimia (μ_d)
- esijännitysvoiman tulee vaikuttaa keskeisesti

7 Käyttörajatilat

7.1 Liitososien välinen siirtymä

Puikkoliitosten siirtymät lasketaan SFS-EN 1995-1-1 taulukon 7.1 mukaisiin liittinten siirtymäkertoimiin K_{ser} perustuen. Taulukossa 8 on esitetty tavallisimpien liittimien K_{ser} -arvot.

Taulukko 8. Puikkoliittimen siirtymäkerroin K_{ser} [N/mm] kahden puuosan välisessä liitostasossa

Liitintyyppi	K_{ser}
Tappivaarnat Pultit ^a Ruuvit Naulat, joille on esiporattu välyksetön reikä	$\rho_m^{1,5} d/23$
^a Mahdollinen välys lisätään liittimen kohdalla laskettuun siirtymään. d on liittimen paksuus tai halkaisija [mm] $\rho_m = \sqrt{\rho_{m,1} \rho_{m,2}}$ liitettävien puuosien keskimääräinen tiheys [kg/m ³] Puun ja betonin tai puun ja teräksen välisessä liitoksessa $\rho_m = 2 \rho_{m,puu}$.	

7.2 Taipumien raja-arvot

Taipumakäsitteet on määritelty standardin SFS-EN 1995-1-1 kohdassa 7.2 ja kuvassa 7.1.

$w_c = w_{fin,g} + w_{c,opt}$	esikorotus
w_{inst}	hetkellinen taipuma
w_{creep}	virumasta syntyvä lisätaipuma
$w_{fin} = w_{inst} + w_{creep}$	kokonaistaipuma
$w_{net,fin} = w_{fin} - w_c$	lopputaipuma

Esikorotus (w_c) on pysyvän kuorman lopputaipuman ($w_{fin,g}$) ja mahdollisen pysyvän optisen korotuksen ($w_{c,opt}$) summa.

Pysyvän kuorman lopputaipuma ($w_{fin,g}$) määritetään virumalisä (w_{creep}) huomioon otettuna.

Optinen korotus edustaa sillan muodon pysyväksi jäävää poikkeamaa tasausviivan mukaisesta teoreettisesta muodosta. Se on tarpeen vain vaakasuorassa tasauksessa sijaitsevilla jännemitaltaan yli 15 m pitkillä yksiaukkoisilla puusilloilla. Optinen korotus, jonka suuruus on $L/1000$ (≤ 30 mm), on merkittävä selkeästi suunnitelmiin.

Kokonaistaipuma (w_{fin}) on tarkasteltavasta kuormitusyhdistelmästä aiheutuvan hetkellisen taipuman (w_{inst}) ja virumalisän (w_{creep}) summa.

Lopputaipuma ($w_{\text{net,fin}}$) on rakenteen teoreettisesta perusmuodosta alaspäin vaikuttava pitkäaikaisen taipuman nettoarvo esikorotus huomioon otettuna.

Liikennekuorman aiheuttama taipuma lasketaan kansallisen liitteen NA-SFS-EN 1990:2002 A1 (Liite 2) (LVM) kohdan A2.4.1 (2) mukaisesti tavallisella kuormalla (yhdistelykerroin Ψ_1).

Suomen puusiltoja koskevat liikennekuormista johtuvien taipumien raja-arvot on esitetty taulukossa 9 (ks. NA-SFS-EN 1995-2 kansallisen liitteen (LVM) kohdan 7.2 taulukko 7.1 (FI)).

Taulukko 9. Liikennekuorman taipumien raja-arvot puisissa palkki-, laatta- ja ristikkosilloissa.

Mitoituskuorma	Taipuman (w_{inst}) raja-arvo (L = jännemitta)
Liikennekuorman tavallinen arvo (yhdistelykerroin Ψ_1)	$L / 400$
Kevyen liikenteen sillan ja vähäliikenteisen tiesillan liikennekuorman tavallinen arvo (Ψ_1)	$L / 200$ (*)

(*) Asianomainen viranomainen päättää taipumarajan $L/200$ käytöstä vähäliikenteisen ($kvl < 350$) seutu-, paikallis- tai yhdystien sillan taipumakriteerinä ja voi asettaa taulukosta poikkeavia hankekohtaisia taipuman raja-arvoja.

7.3 Värähtely

huom! Soveltamisohjeen (NCCI5) kohdan 7.3 alanumerointi ja -otsikointi poikkeavat standardien SFS-EN 1995-1-1 ja SFS-EN 1995-2 vastaavista kohdista.

7.3.1 Yleistä

Vaikka värähtelyyn ei teoreettisia resonanssitapauksia lukuun ottamatta liitykään käytännössä turvallisuus- tai kestävyysriskejä, on liikenne- ja tuulikuorman dynaamisiin vaikutuksiin sisältyvä haitallisen värähtely tai käyttäjien kokema epämukavuusriski otettava suunnittelussa huomioon. Tuulen aiheuttaman värähtelyn suhteen voidaan soveltaa standardia SFS-EN 1991-1-4.

Liikenne- ja viestintäministeriö on antanut eurokoodien värähtelyä koskeviin yleisiin sääntöihin täydentäviä lisäohjeita kansallisissa liitteissään NA-SFS-EN 1990:2002/A1 (Liite A2) kohdassa A2.4.3.2(1), NA-SFS-EN 1991-2 kohdassa 5.7(3) ja NA-SFS-EN 1995-2 kohdassa 7.3.1(2) Liite B sekä Liikennevirasto kansallisen soveltamisohjeen NCCI 1 kohdassa G4.3.2.

Soveltamisohjeen NCCI1 kohdassa G.4.3.2 on esitetty värähtelytarkastelun tarpeellisuutta ja mitoituskriteerejä, kuten herätekuormia, kiihtyvyyksiä ja mukavuuskriteerejä koskevia kansallisia suosituksia. Tämän soveltamisohjeen (NCCI5) kohdassa 7.3.5 on

esitetty lisäksi ominaistajuuden ja kiihtyvyyden laskentaan liittyvää yleistä taustatietoa.

Alustavassa värähtelytarkastelussa määritetään rakenteen ominaistajuus. Tarkempien värähtelytarkastelujen tarpeellisuudesta, laajuudesta, laskentamenetelmästä ja mitoitusperusteista päättää Liikennevirasto hankekohtaisesti. Tyypisiltasuunnitelmien yhteydessä voi tulla kysymykseen myös empiirinen tarkastelutapa.

SFS-EN 1995-2 kansallisen liitteen (LVM) mukaisesti värähtelytarkasteluissa käytetään puun kimmokertoimelle korotettua arvoa $E_d = 1,2 E_{mean}$.

7.3.2 Puurakenteisten tiesiltojen värähtely

Puurakenteisille tiesilloille määritetään tarkastelun peruskriteerinä pidettävä alin ominaistajuus. Jos ominaistajuus on > 5 Hz, tarkempaa värähtelytarkastelua ei yleensä tarvita. Värähtelytarkastelu suoritetaan lähtökohtaisesti samoilla perusteilla kuin kohdassa 7.3.3, ellei tilaaja esitä hankekohtaisia kriteerejä.

7.3.3 Kevyen liikenteen puusiltojen värähtely

Yleiset vaatimukset

Kaikille kevyen liikenteen silloille määritetään määrävä (yleensä alin) ominaistajuus.

Värähtelytarkastelu on yleensä tarpeen, jos pystysuuntaisen värähtelyn ominaistajuus on < 5 Hz tai vaakasuuntaisen värähtelyn ominaistajuus $< 2,5$ Hz.

Mitoituskriteerit

Herätekuormina suositellaan käytettäväksi siltaluokasta riippuen soveltamisohjeen NCCI1 taulukon G.9 mukaisia staattisia herätteitä. Tarkemmissa analyyseissä voidaan tilaajan hyväksymänä käyttää myös liikkuvaa herätettä.

Vaimennussuhteena voidaan puusiltojen värähtelytarkasteluissa käyttää seuraavia arvoja (ks. standardin SFS-EN 1995-2 ja sen kansallisen liitteen (LVM) kohta 7.3.1 ja soveltamisohjeen NCCI1 taulukko G.10):

$\zeta = 0,010$	ilman mekaanisia liitoksia kootut rakenteet
$\zeta = 0,015$	mekaanisin liitoksin kootut rakenteet, kun ko. liitoksilla on oleellinen värähtelyenergiaa sitova rooli rakenteen staattisessa toiminnassa

Puisen palkkisillan syrjälankkukannen sekundäärinen tai suunniteltu liittovaikutus voi lisätä päällysrakenteen vaimennusvaikutusta.

Mukavuuskriteerejä – käytännössä värähtelyn maksimikiiktyvyyksiä ($a_{vert,max}$) - koskevia suositeltavia arvoja on esitetty Standardin SFS-EN 1990:2002/A1 liitekohdassa A2.4.3.2 ja soveltamisohjeen NCCI 1 kohdassa G.4.3.2 seuraavasti:

$a_{vert,max} \leq 0,7 \text{ m/s}^2$	pystysuuntaisessa värähtelyssä
$a_{vert,max} \leq 0,2 \text{ m/s}^2$	vaakasuuntaisessa värähtelyssä normaalisti
$a_{vert,max} \leq 0,4 \text{ m/s}^2$	siltaluokan 1 ruuhkakuormitetut sillat hankekohtaisesti

Koska em. standardin kiihtyvyyssrajat ovat suhteellisen konservatiivisia, eikä värähtelyyn yleensä liity turvallisuusriskejä, voidaan edellä mainituista kiihtyvyyssrajoista perustellusti poiketa hankekohtaisesti niin päätettäessä.

Kansallinen viranomainen voi asettaa siltaluokasta riippuen hankekohtaisia mukavuuskriteerejä. Värähtelyn suhteen ongelmallisilla tai ”helpotetuilla” mitoituskriteereillä suunnitelluissa silloissa voidaan jo suunnitteluvaiheessa varautua myös värähtelyominaisuuksia parantavien hitausmassojen käyttöön.

7.3.4 SFS-EN 1995-2 liitteen B yksinkertaistettu värähtelytarkastelu

Menetelmä soveltuu palkki- ja ristikkosiltojen jalankulkijoista aiheutuvan värähtelyn suuntaa antavaan tarkasteluun. Liitteen B mukaista yksinkertaistettua menetelmää voidaan SFS-EN 1995-2 kansallisen liitteen (LVM) kohdan 7.3.1 (2) ja soveltamisohjeen NCCI1 mukaan käyttää ainakin siltaluokan 4 yksiaukkoisten siltojen värähtelytarkasteluissa opastavana.

Menetelmän herätekuormavaihtoehtojen valintaan voidaan soveltaa NCCI1 taulukkoa G.9.

7.3.5 Ominaisaajuus- ja kiihtyvyysslaskennan viitteellistä taustatietoa

(1) Ominaisaajuuden (f) yleinen laskentakaava on 1-aukkoisen tasakorkealle rakenteelle:

$$f = \frac{\varphi_i^2 \sqrt{EI/m}}{2 \pi L^2}$$

missä φ_i = tuennasta ja värähtelyn kertaluvusta (i) riippuva kerroin
 EI = rakenteen jäykkyys [Nm^2] taivutustasossa, termi E ks. kohta 7.3.4
 m = pituusyksikön massa [kg/m]
 L = rakenteen jännemitta [m]

$\varphi_1 = \pi$, $\varphi_2 = 2\pi$, $\varphi_3 = 3$, palkin molemmilla tuilla vapaa tuenta
 $\varphi_1 = 4,73$, $\varphi_2 = 7,85$, $\varphi_3 = 11,0$, palkin molemmilla tuilla jäykkä kiinnitys
 $\varphi_1 = 3,93$, $\varphi_2 = 7,07$, $\varphi_3 = 10,2$, toisella tuella vapaa ja toisella jäykkä kiinnitys
 $\varphi_1 = 1,88$, $\varphi_2 = 4,69$, $\varphi_3 = 7,86$ ulokepalkki

Yksiaukkoisen vapaasti tuetun palkin tai laatan alin ominaisaajuus on muotoa:

$$f_1 = \frac{\pi \sqrt{EI/m}}{2 L^2}$$

Standardin SFS-EN 1995-1-1 ja sen kansallisen liitteen (YM) kohdassa 7.3.3 on esitetty lisäinformaatiota kahteen suuntaan kantavien, neljältä sivultaan vapaasti tuettujen laattojen ominaisaajuudesta.

(2) Herätekuorman aiheuttama kiihtyvyys (a):

Herätekuorman aiheuttamalle kiihtyvyydelle (a) on SFS-EN 1995-2 opastavan liitteen B lisäksi esitetty eri maiden normeissa (esim. BS5400 Part 2 Appendix C -78), kirjallisuudessa ja tutkimuksissa (esim. VTT RTE38-IR-11/2001) erilaisia lausekkeitä, kuten esim. kaava:

$$a_{\max} = 4 \pi^2 f^2 A \quad [m/s^2] \quad (\text{Rakennustekniikka 1/81 H.Rautakorpi})$$

missä f on rakenteen määräävä ominaistaajuus (yleensä alin) [Hz= s^{-1}]

$A = D w_f$ on värähtelyn taipuma-amplitudi [m]

D on taajuussuhteesta (δ) ja systeemin vaimennuksesta (ζ) kaavan riippuva suurennuskerroin

w_f on herätekuorman aiheuttama rakenteen taipuma [m]

$$D = \frac{1}{\sqrt{(1-\delta^2)^2 + 4\zeta^2\delta^2}}$$

$\delta = \frac{f'}{f}$ = jalankulkijan taajuuden (f') ja ominaistaajuuden (f) suhde

Suhteen f'/f oletusarvolla $\delta=1$ ja vaimennussuhteella $\zeta=0,01$ saadaan: $D = 50$.

Siltarakenteiden värähtelytarkastelut voidaan käytännön suunnittelussa suorittaa osana FEM-analyysiä standardin SFS-EN 1995-2 kansallisen liitteen (LVM), soveltamisohjeen NCCI1 ja tämän ohjeen kohdan 7.3 yleiset suunnitteluperusteet ja -kriteerit huomioon ottaen.

8 Metalliliittimin tehdyt liitokset

8.1 Yleistä

Rakennemallin systeemiviivoituksella pyritään siihen, että liitokset voidaan mitoittaa keskeisille sauvavoimille ja systeemiviivojen mahdolliset epäkeskisyyksien vaikutukset voidaan rajoittaa sekundäärisauvoihin. Muussa tapauksessa ja jäykkiin nurkkaliitoksiin perustuvissa rakenteissa taivutusmomenttien vaikutus on otettava huomioon liitosten mitoituksessa.

8.1.1 Puusiltojen liitoksia ja liittimiä koskevia yleisiä rajoituksia ja ohjeita

Puusiltojen kantavissa pysyvissä rakenteissa ei saa käyttää:

- aksiaalisesti kuormitettuja nauloja (ks. myös kohta 8.2.1)
- naulalevyliitoksia
- hakasliitoksia

Pultti- ja ruuviliitokset kiristetään rakentamisvaiheessa niin, että liitettävät puuosat asettuvat tiukasti toisiaan vasten ja aluslevyt painuvat hieman (≤ 1 mm) puun sisään. Liitokset on suunniteltava siten, että ne voidaan tarvittaessa uudelleen kiristää, kun puu on saavuttanut tasapainokosteutensa. Liitosten tarkastus ja jälkikiristys on suoritettava 6-12 kuukauden kuluttua sillan valmistumisesta.

8.1.2 Usean liittimen liitokset

SFS-EN 1995-1-1 luvun 8 mukaisia liitinkestävyyksiä ja jäykkyyksiä käytettäessä tulee liitinten koko, sijoittelu (liitinten keskiö-, reunaetäisyydet) ja toteutustapa valita niin, että kestävyys- ja jäykkyyksiaavojen niitä koskevat reunaehdot toteutuvat. SFS-EN 1995-1-1 kohdassa 8.1.4 on käsitelty syysuuntaan nähden vinosti kuormitettua liitosta, 8.2 puikkoliittimiä yleisesti, 8.3 naulaliitoksia, 8.5 pulttiliitoksia, 8.6 tappivaarna-liitoksia ja kohdassa 8.7 ruuviliitoksia

Useita samanlaisia liittimiä sisältävän liitoksen kokonaiskestävyys voi olla pienempi kuin yksittäisten liittimien kestävyysien summa. Esim. yhden syiden suuntaisen liitinrivin leikkauskestävyyden tehollinen ominaisarvo liitinrivin suuntaisen voiman vaikuttaessa saadaan lausekkeesta

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} F_{v,Rk} \quad (8.1)$$

missä

$F_{v,ef,Rk}$	= yhden liitinrivin kokonaiskestävyyden kestävyysien tehollinen ominaisarvo
$F_{v,Rk}$	= yksittäisen liittimen kestävyysien ominaisarvo
n_{ef}	= yhden liitinrivin liittimien tehollinen lukumäärä (naula- ja pulttiliitoksille SFS-EN 1995-1-1 kohtien 8.3.1.1(8) ja 8.5.1.1(4) mukaisesti)

Seuraavan mitoitus ehdon tulee toteutua

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,ef,Rd} \quad (8.1a)$$

missä

$F_{v,Ed}$	= rivin suuntaisen voiman tai voimakomponentin mitoitusarvo
$F_{v,ef,Rd}$	= yhden liitinrivin kokonaiskestävyyden tehollinen mitoitusarvo

Kun liitoksessa on ominaisuuksiltaan erilaisia liitintyyppejä ja/tai jäykkyyksiltään poikkeavia liitostasoja, on liitoksen yhteistoiminta ja kestävyys osoitettava erikseen.

8.1.3 Usean leikkaustason käsittävät liitokset

Usean leikkaustason liitoksen kestävyys voidaan määrittää summaamalla erillisten leikkaustasojen kestävyys edellyttäen, että liitostasojen jäykkyys ja liittimien murtumistapa on kaikilla liitostasoilla samanlainen. Yksittäisen leikkaustason kestävyys määritetään olettamalla, että se kuuluu kolmen osasauvan liitoskokonaisuuteen kuvan 9 mukaisesti.

Murtumistyyppinä on kuvailtu standardin SFS-EN 1995-1-1 kuvissa 8.2 ja 8.3.

8.1.4 Liitoksessa syysuuntaan nähden vinosti vaikuttava voima

Syysuuntaan nähden kulmassa α kuvan 9 mukaisesti vaikuttavan voiman (F_{Ed}) syitä vastaan kohtisuoran vetokomponentin ($F_{Ed} \cdot \sin \alpha$) aiheuttama puun halkeamisriski on otettava huomioon. Halkeamisen eliminoimiseksi seuraavan mitoitus ehdon tulee olla voimassa:

$$F_{v,Ed} \leq F_{90,Rd} \quad (8.2)$$

missä

$$F_{v,Ed} = \max (F_{v,Ed,1} ; F_{v,Ed,2}) \quad (8.3)$$

$F_{v,Ed}$ on liitoksen eri puolilla vaikuttavan määrävän leikkausvoiman mitoitusarvo

$F_{90,Rd}$ on halkeamiskestävyyden mitoitusarvo

Havupuun halkeamiskestävyyden ominaisarvo kuvan 9 liitoksessa saadaan lausekkeesta:

$$F_{90,Rk} = 14bw \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} \quad (8.4)$$

missä

$F_{90,Rk}$ = halkeamiskestävyyden ominaisarvo [N]

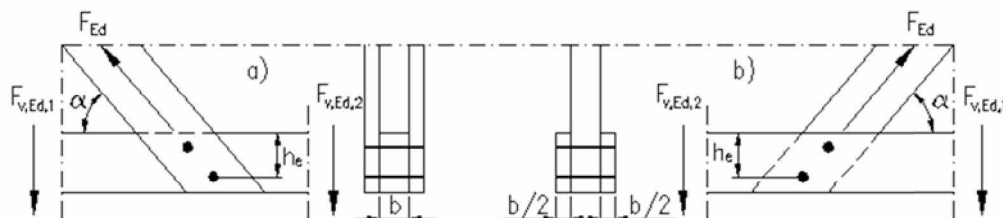
$w = 1$ = muille kuin naulalevyliittimille

h_e = viimeisen liittimen keskiö

etäisyys kuormitetusta reunasta [mm]

h = tarkasteltavan puusauvan poikkileikkauksen korkeus [mm]

b = tarkasteltavan puusauvan poikkileikkauksen leveys (paksuus) [mm]



Kuva 9: Liitoksen välittämä vino voima

Huom. Syiden suuntaisen komponentin ($F_{Ed} \cos \alpha$) mitoitusehto on esitetty kohdassa 8.1.2.

8.1.5 Liitokseen puristusta ja vetoa aiheuttava voima

Jos liitokseen vaikuttavan, pitkäaikaisesta tai keskipitkäaikaisesta kuormasta aiheutuvan voimasuureen mitoitusarvo vaihtelee vetovoiman ($F_{t,Ed}$) ja puristusvoiman ($F_{c,Ed}$) välillä, otetaan vaihtelun liitoksen lujuutta pienentävä vaikutus huomioon mitoittamalla liitos sekä vetovoimalle ($F_{t,Ed} + F_{c,Ed}/2$) että puristusvoimalle ($F_{c,Ed} + F_{t,Ed}/2$).

8.2 Puikkoliittimien poikittaiskuormakestävyys

8.2.1 Yleistä

Metallisiin puikkoliittimiin perustuvien liitosten kestävyyttä määritettäessä otetaan huomioon liittimen myötö- ja ulosvetolujuus sekä puutuotteen reunapuristuslujuus. Puusilloissa naulojen ulosvetokestävyys jätetään liitosten kestävyyskaavoissa huomioimatta.

8.2.2 Kahden puuosan sekä puuosan ja puulevyn väliset liitokset

Naulojen, pulttien, tappivaarujen ja ruuvien kestävyyksien osalta voidaan soveltaa standardin SFS-EN 1995-1-1 kohdan 8.2.2 kaavoja (8.6) ja (8.7) sekä kaavoja vastavien liitos- ja murtumistyyppien suhteen standardin kuvaa 8.2. Liittimen kestävyys ominaisarvo ($F_{v,Rk}$) yhdessä leikkaustasossa saadaan 1-leikkeiselle liittimelle kaavan (8.6) vaihtoehtoisista lausekkeista (a)...(f) ja 2-leikkeiselle liittimelle kaavan (8.7) vaihtoehtoisista lausekkeista (g),(h),(j),(k) laskettuna minimiarvona.

Periaatteelliset kaavalausekkeet (8.6) ja (8.7) ovat muotoa:

- Yksileikkeinen liitin: $F_{v,Rk} = \min [(a)...(f)]$ Kaava (8.6)
- Kaksileikkeinen liitin: $F_{v,Rk} = \min [(g),(h),(j),(k)]$ Kaava (8.7)

Puikkoliittinten kestävyyskaavoissa (8.6) ja (8.7) esiintyvän köysivaikutusterman ($F_{ax,Rk}/4$) suhteellinen osuus verrattuna puikkoliitosteorian mukaiseen kestävyysosuu- teen (kaavoissa summalausekkeen vasen puoli) rajoitetaan seuraaviin enimmäis- arvoihin (suluissa enimmäisosuus kokonaiskestävyydestä):

- naula- ja tappivaarnaliitokset: 0 % (0 %)
- pulttiliitokset: 25 % (20 %)
- ruuviliitokset: 100 % (50 %)

Liittinten kestävyys riippuvat liittimen ja puuosien dimensioista, standardien SFS-EN 409 ja SFS-EN 14358 mukaisesta liittimen myötömomentista ($M_{y,Rk}$), standardien SFS-EN 383 ja SFS-EN 14358 mukaisesta puutuotteen reunapuristuslujuudesta ($f_{h,k}$) sekä ruuvi- ja pulttiliitoksissa myös liittimen ulosvetokestävyydestä ($F_{ax,Rk}$). Naulaliitoksissa ja silloin kun liittimen ulosvetokestävyyttä ei tunneta, köysivaikutusosuus jätetään kestävyyskaavoissa huomioimatta. Yksileikkeisissä liitoksissa ulosvetokes- tävyyden ominaisarvo $F_{ax,Rk}$ lasketaan pienemmän arvon antavan puuosan perusteella.

Hoikkia liittimiä käytettäessä liitokset voidaan olettaa plastisesti myötääviksi, jolloin kaavojen (8.6 f) ja (8.7 k) mukaisia kestävyyskäyviä vastaavat murtumistavat ovat hallit- sevia.

8.2.3 Teräksen ja puun väliset liitokset

Naulojen, pulttien, tappivaarnojen ja ruuvien kestävyyskäyrien osalta voidaan soveltaa standardin SFS-EN 1995-1-1 kohdan 8.2.3 kaavoja (8.9)...(8.13) sekä kaavoja vastaa- vien liitos- ja murtumistyyppien suhteen kuvaa 8.3. Liittimen kestävyyskäyrien ominais- arvo ($F_{v,Rk}$) yhdessä leikkaustasossa kaavojen (8.9)...(8.13) vaihtoehtoisilla periaate- lausekkeilla (a)...(m) ilmaistuna on:

- Yksileikkeinen liitos/ohut teräslevy:
 - $F_{v,Rk} = \min [(a) \dots (b)]$ Kaava (8.9)
- Yksileikkeinen liitos/paksu teräslevy:
 - $F_{v,Rk} = \min [(c) \dots (e)]$ Kaava (8.10)
- Kaksileikkeinen liitos: teräslevy keskellä:
 - $F_{v,Rk} = \min [(f) \dots (h)]$ Kaava (8.11)
- Kaksileikkeinen liitos: ohut teräslevy sivuilla:
 - $F_{v,Rk} = \min [(i) , (k)]$ Kaava (8.12)
- Kaksileikkeinen liitos: paksu teräslevy sivuilla:
 - $F_{v,Rk} = \min [(l) , (m)]$ Kaava (8.13)

Ohueksi teräslevyksi katsotaan levy, jonka paksuus $t \leq 0,5 d$. Paksuksi teräslevyksi katsotaan levy, jonka paksuus $t \geq d$ ja reiän halkaisijan toleranssi $< 0,1 d$. Teräslevyil- lä $t=(0,5 \dots 1,0) d$ liitinkestävyys interpoloidaan ohuen ja paksun teräslevyn tapausten välillä. Kaava (8.11) on teräslevyn paksuudesta riippumaton.

Puikkoliittimien kestävyyskaavoissa (8.9) ja (8.13) esiintyvää köysivaikutusosuutta ($F_{ax,Rk}/4$) koskevat kohdassa 8.2.2 esitetyt rajoitukset ovat voimassa.

Lisäksi teräslevyn oma kestävyys tulee tarkistaa.

8.3 Naulaliitoksia koskevia sääntöjä

8.3.1 Poikittain kuormitetut naulat

8.3.1.1 Yleiset säännöt

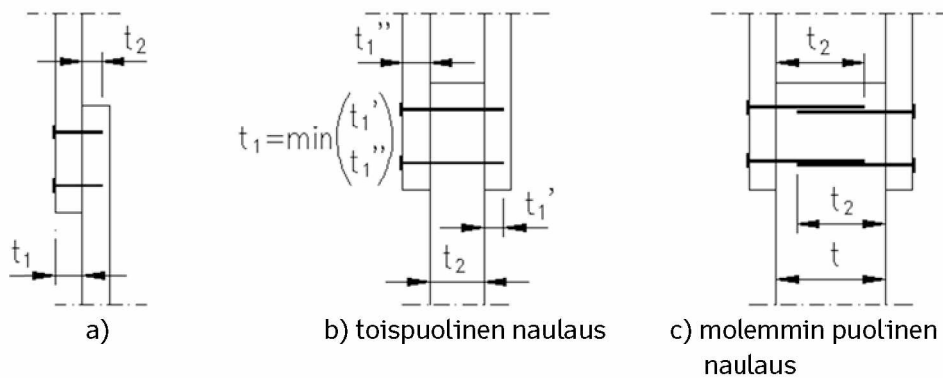
Liitoksen vähimmäisnaulamäärä on kaksi naulaa.

Naulojen reiät on esiporattava, jos joku seuraavista ehdoista toteutuu:

- puun tiheyden ominaisarvo $\rho_k > 500 \text{ kg/m}^3$
- naulan paksuus $d > 6 \text{ mm}$
- puuosan paksuus $t < \max \{ 7d; (13d-30) \rho_k/400 \}$ (SFS-EN 1995-1-1 kaava (8.18))

Esiporattujen reikien halkaisija saa olla enintään $0,8d$. Naulan paksuus d on pyöreällä naulalla halkaisijan mitta ja neliskulmaisella naulalla poikkileikkauksen sivumitta.

Puuosien paksuusmerkinnät t_1 ja t_2 on määritelty kuvassa 10.



Kuva 10. Merkinnät t_1 ja t_2 a) yksileikkeisessä, b) ja c) kaksileikkeisessä puuosien liitoksessa

Standardin SFS-EN 1995-1-1 kestävyyskaavoissa (8.6) ja (8.7) esiintyvä liittimen myötömomentti ($M_{y,Rk}$) saadaan kaavasta (8.14) ja puutuotteen reunapuristuslujuus ($f_{h,k}$) kaavoista (8.15) ja (8.16) seuraavasti:

Myötömomentin ominaisarvot vetolujuudeltaan $f_u \geq 600 \text{ N/mm}^2$ sileille lankanauloille:

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_u d^{2,6} \quad \text{pyöreille nautoille} \quad (8.14)$$

$$M_{y,Rk} = 0,45 f_u d^{2,6} \quad \text{nelikulmaisille ja uranautoille}$$

Sahatavaran ja LVL:n reunapuristuslujuus ($f_{h,k}$):

$$f_{h,k} = 0,082 \rho_k d^{-0,3} \quad \text{naulapaksuuksilla } d \leq 6 \text{ mm ilman reikien esiporausta (8.15)}$$

$$f_{h,k} = 0,082 (1-0,01d) \rho_k \quad \text{naulapaksuuksilla } d \leq 8 \text{ mm reikien ollessa esiporattuja (8.16)}$$

Naulapaksuuksilla $d > 8$ mm reunapuristuslujuus lasketaan kohdan 8.5.1.1 pulttikaa-voilla (8.31)–(8.33) syiden ja liitosta kuormittavan voiman välinen kulma (α) huomioiden. Syiden suuntaisen voiman tapauksessa kaava (8.16) soveltuu myös naulapaksuuksille $d > 8$ mm.

Syiden suuntaisen voiman kuormittaman, n naulaa sisältävän syiden suuntaisen naularivin kestävyys lasketaan kaavan (8.17) mukaista naulojen tehollista lukumäärää (n_{ef}) käyttäen.

$$n_{\text{ef}} = n^{k_{\text{ef}}} \quad (8.17)$$

, missä

n_{ef} = riviin kuuluvien naulojen (n kpl) tehollinen lukumäärä
 k_{ef} = 1,00 kun $a_1 \geq 14d$ (a_1 =syysuuntainen naulaväli ja d = naulan paksuus)
= 0,85 kun $a_1 = 10d$
= 0,70 kun $a_1 = 7d$
= 0,50 kun $a_1 = 4d$ esiporatuille rei'ille
= 0 kun $a_1 = 4d$ ilman esiporausta

väliarvot saadaan lineaarisesti interpoloimalla

Naularivin kestävyys voidaan laskea todellisella naulamäärällä, jos kuvan 11c mukaisen syysuuntaisen naularivin peräkkäiset naulat sijaitsevat syylinjan vastakkaisilla puolilla ja niiden syitä vastaan kohtisuora etäisyys on $\geq d$ sekä keskiövälit vaatimusten mukaiset.

8.3.1.2 Puuosien väliset naulaliitokset

Puosien väliset naulaliitokset:

- Naulat lyödään syitä vastaan kohtisuoraan ja kannan puolella puun pinnan tasoon.
- Naulavälien reuna- ja päätyetäisyyksien tulee täyttää taulukon 10 ehdot.
- Kärjenpuoleisen tunkeuman tulee olla sileillä nauloilla $\geq 8d$ ja muilla nauloilla $\geq 6d$ (SFS 14592).
- Päätypuuhun syiden suuntaisesti lyödyillä nauloilla toteutettuja liitoksi ei katso- ta siirtävän poikittaisvoimia (SFS-EN 1995-1-1 kohta 8.3.1.2 (3)).

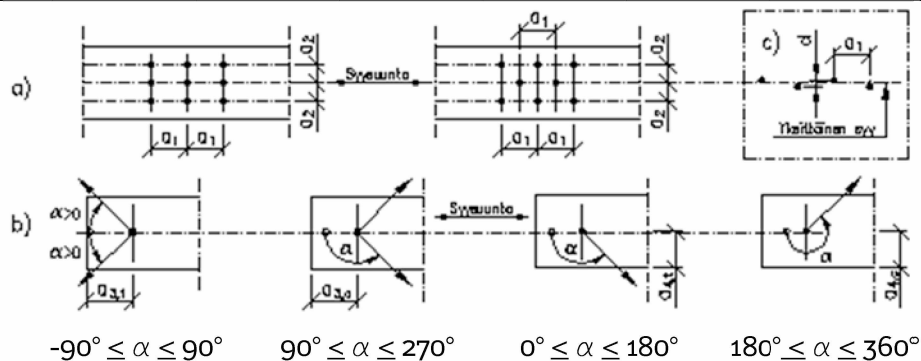
Päätypuuliitosten käyttö siltarakenteissa on perusteltua rajoittaa vain sekundää- risiin kiinnityksiin muita kuin standardin SFS-EN 14592 mukaisia sileitä nauloja käyttäen. Sileillä nauloilla toteutetut päätypuuliitokset soveltuvat vain työnai- kaisten rakenteiden sekundääriliitoksiin.

Standardin SFS-EN 14592 mukaisilla nauloilla toteutetun päätypuuliitoksen kes- tävyyden mitoitusarvona voidaan käyttää enintään kolmasosaa syitä vastaan kohtisuorin silein nauloin toteutetun, mutta muuten vastaavan liitoksen kestä- vyydestä, mikäli seuraavat ehdot toteutuvat:

- naulat kuormittuvat vain poikittain
- liitoksessa on vähintään kolme naulaa
- naulan tunkeuma kärjen puoleiseen puosaan on $\geq 10d$
- liitos kuuluu käyttöluokkaan 1 tai 2
- liitin- ja reunaetäisyydet täyttävät standardin SFS-EN 1995-1-1 vaa- timukset

Taulukko 10. Naulojen liitinvälien ja reunaetäisyyksien vähimmäisarvot
(ks. SFS-EN 1995-1-1 taulukko 8.2)

Naulaväli tai reuna- etäisyys (ks. kuva 10)	Kulma α [°]	Naulavälin tai reunaetäisyyden minimiarvo	
		Ilman esiporausta	Esiporatut reiät
Naulaväli a_1 (syysuunnassa)	$0 \leq \alpha \leq 360$	$(7+8 \cos \alpha) d$	$(4+ \cos \alpha) d$
Naulaväli a_2 (\perp syysuuntaan)	$0 \leq \alpha \leq 360$	$7 d$	$(3+ \sin \alpha) d$
Etäisyys $a_{3,t}$ (kuormitettu pää)	$-90 \leq \alpha \leq 90$	$(15+5 \cos \alpha) d$	$(7+ 5 \cos \alpha) d$
Etäisyys $a_{3,c}$ (kuormittamaton pää)	$90 \leq \alpha \leq 270$	$15 d$	$7 d$
Etäisyys $a_{4,t}$ (kuormitettu reuna)	$0 \leq \alpha \leq 180$	$d < 5: (7+2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5: (7+5 \sin \alpha) d$	$d < 5: (3+2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5: (3+4 \sin \alpha) d$
Etäisyys $a_{4,c}$ (kuormittamaton reuna)	$180 \leq \alpha \leq 360$	$7 d$	$3 d$



Kuormitettu \leftarrow pää \rightarrow Kuormittamaton Kuormitettu \leftarrow reuna \rightarrow Kuormittamaton

Kuva 11. Liitinvälit ja liitinten reunaetäisyydet: a) syysuuntainen ja kohtisuora liitinväli, b) pääty- ja reunaetäisyydet, c) syysuuntaisen naularivin peräkkäiset naulat syyn vastakkaisilla puolilla (ks. vastaava kuva SFS-EN 1995-1-1 kuva 8.7)

8.3.1.3 Puulevyn ja puun väliset naulaliitokset

Naulavälien vähimmäisarvot ovat 0,85-kertaisia taulukon 10 arvoihin verrattuna.

Naulojen reunaetäisyydet ovat taulukon 10 mukaiset seuraavin poikkeuksin:

- vanerinosan kuormittamattomalla reunalla reunaetäisyyden minimiarvo on $3d$
- vanerinosan kuormitetulla reunalla reunaetäisyyden minimiarvo on $(3+4 \sin \alpha) d$

α = kuorman suunnan ja kuormitetun reunan välinen kulma asteina)

Vanerin reunapuristuslujuuden ominaisarvo ($f_{h,k}$), kun naulan kannan halkaisija on $\geq 2d$, naulan halkaisija on d [mm] ja vanerin tiheys ρ_k [kg/m³], saadaan seuraavasti:

$$f_{h,k} = 0,11 \rho_k d^{-0,3} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (8.20)$$

8.3.1.4 Teräksen ja puun väliset naulaliitokset

Naulavälien vähimmäisarvot ovat 0,7-kertaisia taulukon 10 arvoihin verrattuna.

Naulojen reunaetäisyydet ovat taulukon 10 mukaiset.

8.3.2 Aksiaalisesti kuormitetut naulat

Silloissa ei sallita aksiaalisesti kuormitettuja nauloja.

Vinonaulauksen suhteen voidaan soveltaa standardin SFS-EN 1995-1-1 kuvaa 8.8 (b) ja kohtaa 10.4.2.

8.4 Hakasliitokset

Hakasliitoksia ei sallita silloissa.

8.5 Pulttiliitoksia koskevia sääntöjä

8.5.1 Poikittain kuormitetut pultit

8.5.1.1 Yleiset ja puuosien väliset pulttiliitokset

Pulttien myötömomentin ominaisarvot lasketaan lausekkeesta:

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6} \quad (8.30)$$

missä:

$M_{y,Rk}$ = myötömomentin ominaisarvo [N/mm²]

$f_{u,k}$ = vetolujuuden ominaisarvo [N/mm²]

d = pultin halkaisija [mm]

Sahatavaran ja LVL:n reunapuristuslujuuden lauseke, kun pultin halkaisija $d \leq 30\text{mm}$, on:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (8.31)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 (1 - 0,01d) \rho_k \quad (8.32)$$

missä:

$f_{h,0,k}$ = syysuuntaista kuormaa ($\alpha=0$) vastaava reunapuristuslujuuden ominaisarvo

ρ_k = puun tiheyden ominaisarvo [kg/m^3]

α = liitosta kuormittavan voiman ja syysuunnan välinen kulma

d = pultin halkaisija [mm]

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015 d & \text{havupuulle} \\ 1,30 + 0,015 d & \text{LVL:lle} \\ 0,90 + 0,015 d & \text{lehtipuulle} \end{cases} \quad (8.33)$$

Pulttivälien sekä reuna- ja päätyetäisyyksien tulee täyttää taulukon 11 ehdot.

Taulukko 11. Pulttien liitinvälien ja reunaetäisyyksien vähimmäisarvot
(ks. SFS-EN 1995-1-1 taulukko 8.4)

Pulttiväli tai reunaetäisyys (merkinnät, ks. kuva 10)	Voiman ja syyn välinen kulma α [°]	Pulttivälin tai reunaetäisyyden minimiarvo
Pulttiväli a_1 (syysuunnassa)	$0 \leq \alpha \leq 360$	$(4 + \cos \alpha) d$
Pulttiväli a_2 (re syysuuntaan)	$0 \leq \alpha \leq 360$	$4 d$
Etäisyys $a_{3,t}$ (kuormitettu pää)	$-90 \leq \alpha \leq 90$	$\max \{ 7 d; 80 \text{ mm} \}$
Etäisyys $a_{3,c}$ (kuormittamaton pää)	$90 \leq \alpha \leq 150$	$(1 + 6 \sin \alpha) d$
	$150 \leq \alpha \leq 210$	$4 d$
	$210 \leq \alpha \leq 270$	$(1 + 6 \sin \alpha) d$
Etäisyys $a_{4,t}$ (kuormitettu reuna)	$0 \leq \alpha \leq 180$	$\max \{ (2 + 2 \sin \alpha); 3 \} d$
Etäisyys $a_{4,c}$ (kuormittamaton reuna)	$180 \leq \alpha \leq 360$	$3 d$

Syiden suuntaisesti kuormitetun ($\alpha=0$), n pulttia sisältävän syiden suuntaisen pulttirivin kestävyys lasketaan kaavan (8.34) mukaiseen pulttien teholliseen lukumäärään (n_{ef}) perustuen.

$$n_{\text{ef}} = \begin{cases} n \\ n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \end{cases} \quad (8.34)$$

$$n_{\text{ef}} = \min \{ n ; n^{0,9} (a_1/13d)^{1/4} \} \quad (8.34)$$

missä

a_1 = syysuuntainen pulttiväli

n_{ef} = riviin kuuluvien pulttien (n kpl) tehollinen lukumäärä

d = pultin halkaisija

$$n_{ef} = n \quad \text{kun syitä vastaan kohtisuora voima kuormittaa liitosta (\alpha=90^\circ)} \quad (8.35)$$

Kulman arvoilla $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ n_{ef} -väliarvot interpoloidaan lineaarisesti.

Pulttiliitosten toteutusta koskevia vaatimuksia:

- Puuhun poratun pultinreiän halkaisija saa olla enintään $d+1$ mm.
- Teräkseen poratun pultinreiän halkaisija saa olla enintään $d+\max\{2\text{mm}; 0,1d\}$.
- Pultin kannan ja mutterin alla on käytettävä puuta vasten tasaisesti kuormitettavia aluslaattoja, joiden sivun mitta tai halkaisija on $> 3d$ ja paksuus $\geq 0,3d$.
- Pultit ja kansiruuvit on kiristettävä siten, että sauvat ja liitososat liittyvät toisiinsa tiukasti. Puun saavutettua tasapainokosteutensa liitosten tiukkuus ja toimivuus on tarkistettava ja liittimet tarvittaessa uudelleen kiristettävä.

8.5.1.2 Puulevyn ja puun väliset pulttiliitokset

Vanerin reunapuristuslujuudelle $[N/mm^2]$ on pinnan syiden suunnasta riippumatta voimassa:

$$f_{h,k} = 0,11 (1-0,01d) \rho_k \quad (8.36)$$

missä:

d = pultin halkaisija [mm]

ρ_k = vanerin tiheys $[kg/m^3]$

$f_{h,k}$ = reunapuristuslujuuden ominaisarvo $[N/mm^2]$

8.5.1.3 Teräksen ja puun väliset pulttiliitokset

Standardin SFS-EN 1995-1-1 kohdassa 8.2.3 ja tämän soveltamisohjeen vastaavassa kohdassa 8.2.3 esitetyt säännöt ovat voimassa myös pulttiliitoksille.

8.5.2 Aksiaalisesti kuormitetut pultit

Pultin pitkittäis- ja ulosvetokestävyyttä määritettäessä on tarkistettava:

- teräspultin oma vetokestävyys SFS-EN 1993 mukaisesti
- aluslaatan tai teräslevyn kestävyys SFS-EN 1993 mukaisesti olettamalla, että aluslevyn ja puun kosketuspinnalla vaikuttavan puristuslujuuden ominaisarvo on $\geq 3 f_{c,90,k}$.
- teräslevyn SFS-EN 1993 mukainen kestävyys pulttia kohden saa olla enintään sellaisen pyöreän aluslaatan kestävyys, jonka halkaisija $\min\{12t ; 4d\}$ missä t on teräslevyn paksuus ja d pultin halkaisija.

8.6 Tappivaarnaliitokset

Standardin SFS-EN 1995-1-1 kohdan 8.5.1 ja tämän soveltamisohjeen vastaavan kohdan poikittain kuormitettuja pultteja koskevat säännöt ovat voimassa myös tappivaarnoille, joiden halkaisija on välillä $6 \leq d \leq 30$ mm. Puuhun tappivaarnoille porattujen reikien halkaisija saa olla enintään tappivaarnan halkaisijan suuruinen.

Tappivaarnojen liitinvälien sekä reuna- ja päätyetäisyyksien tulee täyttää taulukon 12 ehdot.

Taulukko 12. Tappivaarnojen liitinvälien ja reunaetäisyyksien vähimmäisarvot
(ks. SFS-EN 1995-1-1 taulukko 8.5)

Tappivaarnojen liitinväli tai reunaetäisyys (merkinnät, ks. kuva 10)	Voiman ja syyn välinen kulma α [°]	Pulttivälin tai reunaetäisyyden minimi-arvo
Liitinväli a_1 (syysuunnassa)	$0 \leq \alpha \leq 360$	$(3+2 \cos \alpha) d$
Liitinväli a_2 (β syysuuntaan)	$0 \leq \alpha \leq 360$	$3 d$
Etäisyys $a_{3,t}$ (kuormitettu pää)	$-90 \leq \alpha \leq 90$	$\max \{ 7 d ; 80 \text{ mm} \}$
Etäisyys $a_{3,c}$ (kuormittamaton pää)	$90 \leq \alpha \leq 150$	$\max \{ a_{3,t} \sin \alpha ; 3 \} d$
	$150 \leq \alpha \leq 210$	$3 d$
	$210 \leq \alpha \leq 270$	$\max \{ a_{3,t} \sin \alpha ; 3 \} d$
Etäisyys $a_{4,t}$ (kuormitettu reuna)	$0 \leq \alpha \leq 180$	$\max \{ (2+2 \sin \alpha) ; 3 \} d$
Etäisyys $a_{4,c}$ (kuormittamaton reuna)	$180 \leq \alpha \leq 360$	$3 d$

8.7 Ruuviliitokset

8.7.1 Poikittain kuormitetut ruuvit

Ruuvien kestävyys on määritettävä käyttämällä tehollista halkaisijaa, joka ottaa huomioon ruuvien kierteisen osan vaikutuksen.

Standardin SFS-EN 1995-1-1 kohdan 8.2 ja tämän soveltamisohjeen vastaavan kohdan poikittain kuormitettuja puikkoliittimiä koskevat säännöt ovat voimassa osakierteisille ruuveille, jos seuraavat ehdot toteutuvat:

- kierteen ulkohalkaisija (nimellishalkaisija) on ruuvien varren halkaisijan suuruinen
- tehollisen halkaisijan d_{ef} arvona käytetään ruuvien sileän varsiosan halkaisijaa (d)
- sileä varsiosa tukeutuu kärjen puoleiseen puuosaan vähintään mitan $4d$ verran

Jos edellä mainitut ehdot eivät toteudu, käytetään ruuvien kestävyysmäärittämisessä tehollisen halkaisijan arvona $d_{ef} = 1,1 d_1$, missä d_1 on kierteen sisähalkaisija.

Osakierteisille ruuveille $d \leq 6$ mm, ovat voimassa SFS-EN 1995-1-1 kohdan 8.3.1 poikittain kuormitettuja naulaliitoksia koskevat säännöt.

Osakierteisille ruuveille $d > 6$ mm, ovat voimassa SFS-EN 1995-1-1 kohdan 8.5.1 poikittain kuormitettuja pulttiliitoksia koskevat säännöt.

Ruuvien esiporausta koskevat seuraavat säännöt:

- Esiporausta ei tarvita, jos havupuuhun kiinnitettävän esiporausruuvien sileän varsiosan halkaisija on $d \leq 6$ mm.
- Havupuuhun kiinnitettävälle ruuveille $d \leq 6$ mm ja kaikille lehtipuuhun kiinnitettävälle ruuveille tarvitaan esiporaus.
- Ruuvien varsiosan esireiän halkaisija ja pituus ovat samat kuin itse varsiosalla.
- Kierreosan esireiän halkaisija on n. 70 % varsiosan halkaisijasta.
- Puun tiheyden ollessa > 500 kg/m³, esireiän halkaisija määritetään kokeellisesti.
- Itseporautuvien ruuvien esireiän halkaisijan enimmäisarvo on kierteen sisähalkaisija.

8.7.2 Aksiaalisesti kuormitettut ruuvit

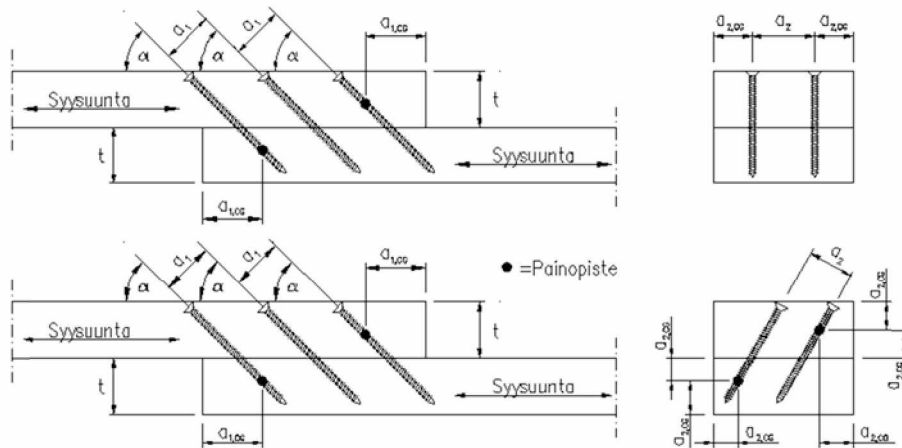
Aksiaalisesti kuormittuvien ruuvien kestävyyttä osoitettaessa on otettava huomioon seuraavat murtumistavat:

- ruuvien kierteisen osan ulosvetomurto
- teräslevyjä käytettäessä ruuvien kannan irtoaminen, ellei varmuutta, että irtoamiskestävyys on suurempi kuin ruuvien vetokestävyys
- ruuvien kannan läpivetomurto (lävistysmurto)
- ruuvien vetomurto
- puristetun ruuvien nurjahdusmurto
- ruuviryhmän lohkeamis- tai palamurtuminen (ks. SFS-EN 1995-1-1 liite A)

Ruuvien liitinvälien sekä reuna- ja päätyetäisyyksien tulee täyttää taulukon 13 ehdot, kun puun paksuus on $t \geq 12$ d.

Taulukko 13. Aksiaalisesti kuormittuvien ruuvien keskiövälien ja reunaetäisyyksien minimiarvot (ks. SFS-EN 1995-1-1 taulukko 8.6)

a_1 Liitinväli syysuuntaisessa tasossa	a_2 Liitinväli syitä vastaan kohtisuorassa tasossa	$a_{1,CG}$ Kierreosan painopisteen päätyetäisyys	$a_{2,CG}$ Kierreosan painopisteen reunaetäisyys
7 d	5 d	10 d	4 d
Liitinvälien ja reunaetäisyyksien merkinnät, ks. kuva 12. Ehto: puun paksuus $t \geq 12$ d			



Kuva 12. Ruuvien liitinvälit ja reunaetäisyydet:

Ruuvien vähimmäistunkeuma kärjen puoleiseen puuhun tulee olla $5d$.

Jos kierteen ulkohalkaisija täyttää ehdon $6 \text{ mm} \leq d \leq 12 \text{ mm}$ ja kierteen sisähalkaisija ehdon $0,6 d \leq d_1 \leq 0,75 d$, lasketaan standardin SFS-EN 14592 mukaisen ruuviliitoksen ulosvetokestävyyden ominaisarvo seuraavasti:

$$F_{ax,k,Rk} = \frac{n_{ef} f_{ax,k} d \ell_{ef} k_d}{1,2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \quad (8.38)$$

missä

$$f_{ax,k} = 0,52 d^{0,5} \ell_{ef}^{-0,1} \rho_k^{0,8} \quad (8.39)$$

$$k_d = \min \left\{ \frac{d}{8}, 1 \right\} \quad (8.40)$$

$F_{ax,k,Rk}$ = ominaisulosvetokestävyys [N], kun liitos on kulmassa α syysuuntaan nähden

$f_{ax,k}$ = ulosvetolujuuden ominaisarvo [N/mm^2], kun ruuvi on kohtisuorassa syysuuntaan

n_{ef} = ruuvien tehollinen lukumäärä

ℓ_{ef} = kierreosan tunkeuma [mm]

ρ_k = puun ominaistiheys [kg/m^3]

α $\geq 30^\circ$ = ruuvien akselin ja syysuunnan välinen kulma

Jos edellä mainitut ruuvien ulko- ja sisähalkaisijalle asetetut vaatimukset eivät toteudu, saadaan ulosvetokestävyyden ominaisarvo $F_{ax,k,Rk}$ kaavasta (8.40a).

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef} f_{ax,k} d \ell_{ef}}{1,2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \left(\frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8} \quad (8.40a)$$

missä

ρ_a = ulosvetokestävyyden parametriin $f_{ax,k}$ liittyvä tiheyden arvo [kg/m^3]

$f_{ax,k}$ = syitä vastaan kohtisuoran ulosvetokestävyyden standardin SFS-EN 14592 mukaisesti puun tiheyteen ρ_a perustuen määritetty parametri

Muut merkinnät, kuten kaavan (8.38...40) yhteydessä.

Liitoksen läpivetokestävyyden ominaisarvo saadaan kaavasta (8.40b), kun ruuviryhmään vaikuttavalla voimalla on ruuvin varren suuntainen komponentti.

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} f_{head,k} d_h^2 \left(\frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8} \quad (8.40b)$$

missä

$F_{ax,\alpha,Rk}$ = liitoksen läpivetokestävyyden ominaisarvo [N], kun liitoksen ja α syysuunnan välinen kulma on $\alpha \geq 30^\circ$

$f_{head,k}$ = ulosvetokestävyyden standardin SFS-EN 14592 mukaisesti puun tiheyteen ρ_a perustuen määritetty parametrin ominaisarvo

d_h = ruuvin kannan halkaisija [mm]

Ruuvin kannan irtoamisen tai ruuvin varren vetokestävyyden määräämä liitoksen vetokestävyyden ominaisarvo saadaan kaavasta (8.40c)

$$F_{t,Rk} = n_{ef} f_{tens,k} \quad (8.40c)$$

missä

$f_{tens,k}$ = standardin SFS-EN 14592 mukainen ruuvin vetokestävyyden ominaisarvo

n_{ef} = ruuvien tehollinen lukumäärä

Kun liitoksen n ruuvia sisältävään ruuviryhmään vaikuttavalla voimalla on ruuvien varren suuntainen komponentti, saadaan ruuvien tehollinen lukumäärä n_{ef} kaavasta (8.41).

$$n_{ef} = n^{0,9} \quad (8.41)$$

8.7.3 Samanaikaisesti poikittain ja aksiaalisesti kuormitetut ruuvit

Kun ruuviliitokseen vaikuttavalla voimalla on ruuvin varren suuntainen komponentti ($F_{ax,Ed}$) ja sille kohtisuora poikittainen komponentti ($F_{v,Ed}$), tulee seuraavien ehtojen toteutua.

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1 \quad (\text{RIL 205-1-2009 kaava 8.28})$$

missä

$F_{ax,Rd}$ = ruuvien aksiaalista kuormitusta vastaava aksiaalisen voiman mitoitusarvo

$F_{ax,Rd}$ = ruuvien aksiaalista kuormitusta vastaava kestävyys mitoitusarvo

$F_{v,Ed}$ = ruuvien poikittaista kuormitusta vastaava leikkausvoiman mitoitusarvo

$F_{v,Rd}$ = ruuvien poikittaista kuormitusta vastaava kestävyys mitoitusarvo

8.8 Naulalevyliitokset

Naulalevyliitoksia ei sallita siltojen pysyvissä rakenteissa.

8.9 Rengasvaarnat ja lautasvaarnat

Voidaan soveltaa standardin SFS-EN 1995-1-1 vastaavaa kappaletta.

8.10 Hammasvaarnat

Voidaan soveltaa standardin SFS-EN 1995-1-1 vastaavaa kappaletta.

8.11 Liimatankoliitokset

Liimatankoliitosten mahdollisia käyttösovelluksia ovat mm:

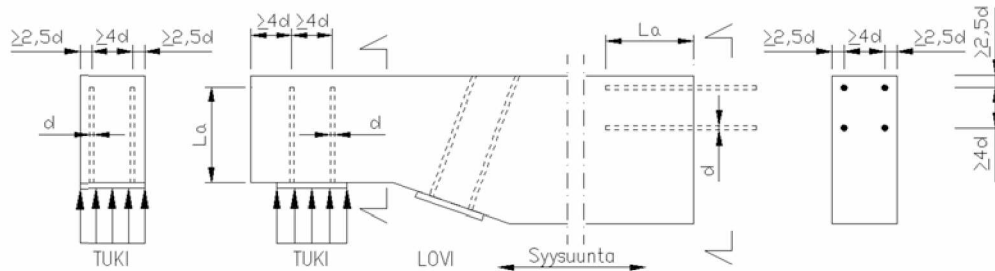
- Palkin tukialueen ja laakerikohdan vahvistaminen (kuva 13).
- Lovetun palkin vahvistaminen (kuva 13).
- Nurkan vahvistaminen lohkeamista vastaan.
- Liittopalkin vaarnat (kuva 14); puu-betoni -liittorakenteessa betonilaatta ja mahdolliset harjateräsvaarnat mitoitetaan asianomaisten eurokoodien mukaisesti.

Liimatankoliitoksia koskevia perussääntöjä:

- Rakenteellisten liimatankoliitosten käyttö ja valmistus edellyttää todistusta AC-luokan 1 laadunvarmentamisen menettelystä.
- Liimatankoliitokset sallitaan silloin vain käyttöluokissa 1 ja 2.
- Käytettävien epoksiliimojen tulee kuitenkin täyttää standardin SFS-EN 301 vaatimukset käyttöluokassa 3.
- Liimatangot ovat tavallisesti pyöreitä kierteillä tai harjoilla varustettuja terästankoja tai ruostumattomia terästankoja.
- Tangoille porataan reiät halkaisijaltaan $d_{ef} \leq 1,25 d$ (d = tangon halkaisija). Reiän pituus (L_a) mitoitetaan liimasauman tartuntalujuuden ($f_{a,d}$) perusteella; vedetyillä tangoilla tartuntapituus määritetään siten, että terästangot myötävät ennen kuin liimaliitoksen kapasiteetti on saavutettu, ts. myötöehto $R_{a,d} \geq R_{d,terästanko}$ on voimassa.
- Liimasauman tartuntalujuuden mitoitusarvo $f_{a,d} = 6,5 k_{mod} (1 - L_a/100d) / \gamma_{m,puu}$ [N/mm²]
ja liimaliitoksen tartuntakestävyyden mitoitusarvo $R_{a,d} = f_{a,d} \pi d_{ef} L_a$.
- Tangon mitoituskestävyys $R_{d,terästanko} = f_d \pi d^2 / 4$, missä f_d on tangon mitoituslujuus perustuu myötölujuuteen tai alempaan 0.2-rajaan (f_y).

- Vedetyn tangon liimauspituutta määrättäessä terästangon kapasiteetti suositellaan laskettavaksi arvoon $f_{puk} \leq 800$ MPa rajoitetun tangon murtolujuuden perusteella.
- Tankojen keskinäinen minimietäisyys on $4d$ ja minimi reunaetäisyys $2,5d$, paitsi sauvan päästä mitattuna $4d$ (kuva 13).

Liimatankoliitoksia on käsitelty mm. *Puurakenteiden suunnitteluohjeen* RIL 205-1-2009 kohdassa 8.11S.



Kuva 13. Liimatankoliitosten periaate: sovellusesimerkkeinä tuki- ja loviaalueen vahvistaminen

8.12 Liittorakenteet

Puu-betoni-liittorakenteella saavutettavia etuja:

- suurempi jäykkyys vertikaali- ja horisontaalitasoissa
- pienemmät taipumat, parempi kantavuus
- stabiili rakenne
- hyvät värähtelyominaisuudet
- matala rakennekorkeus
- hyvä sääsuoja kannen alapuolisille puurakenteille

Puu-betoni-liittorakenteen haittapuolia:

- betonilaatan suurehko omapaino
- muodonmuutoskuormat (kosteusmuutos, kutistuma, lämpötilamuutos)
- betonilaatan ja puun välissä vaikuttavan leikkausvoiman eliminointitarve

Puu-betoni-liittorakenteen varmistaminen:

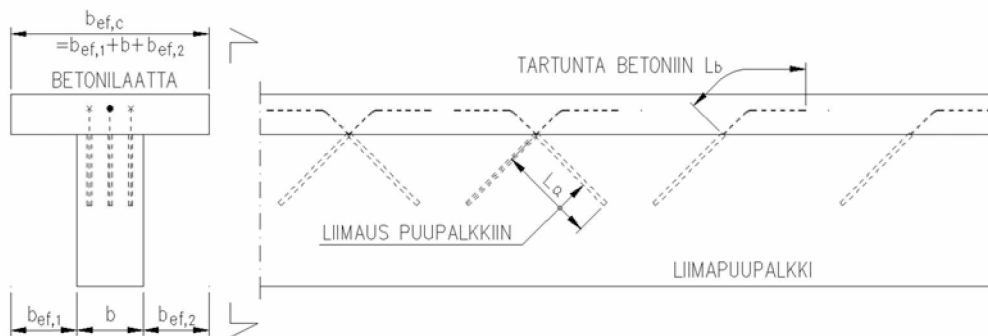
- mekaaniset liittimet (harjateräkset, kierretangot, tappivaarnat; liimaus puuhun, tartunta betonivaluun); vaarnat voidaan asentaa/liimata palkin pituusakseliin nähden kohtisuoraan tai vinosti, kuten kuvan 14 esimerkissä
- mekaanisin liittimin varmistetut loviliitokset (puun ja betonin puskuliitos, pystysuunnan varmistaminen vetoa kestävin liittimin)

Liittorakennetta on käsitelty standardin SFS-EN 1995-2 kohdissa 1.5.2.1, 5.2, 5.3 ja 8.2. Vaarnojen liimausten osalta voidaan soveltaa tämän ohjeen kohtaan 8.11.

Betonilaatan toimivaa leveyttä $b_{ef,c}$ voidaan tarkastella betonirakenteita koskevan soveltamisohjeen NCCI2 kohtaa 5.3 soveltaen.

Puu-betoni – liitorakenteissa suositellaan käytettäväksi kreosoottikyllästettyä liimapuuta. Näkyviin jäävien pintojen esteettiseen suojaukseen tulee tällöin kiinnittää huomiota. Suolakyllästettyä liimapuuta käytettäessä palkin betonia vasten tuleva yläpinta käsitellään lisäksi kreosootilla, jonka tulee olla kosketuskuiva ja tahraamaton betonikannen valuvaiheessa.

Liittopoikkileikkausta voidaan tarkastella yleensä monoliittisena puupoikkileikkauksena, jossa betoniosa muunnettu kimmokertoimien suhteessa puurakenteeksi. Lyhytaikaisella kuormalla kimmokerroinsuhteen E_c/E_{mean} arvo on noin 3 ja pitkäaikaisilla kuormilla noin 2.



Kuva 14. Puu-betoni-liittopalkki, jossa pituusakselin suhteen vinosti liimatut liimatankovaarnat

9 Levy- ja ristikkorakenteet

Silloissa harvemmin esiintyvistä standardin SFS-EN 1995-1-1 luvun 9 levy- ja ristikkorakenteista esitetään tässä soveltamisohjeessa lähinnä vain viittauksia standardiin.

Ohutuumaisten liimattujen I- ja kotelopalkkien osalta voidaan soveltaa standardin alakohtaa 9.1.1.

Liimattuja laattapalkkeja on käsitelty standardin alakohdassa 9.1.2.

Liimaamalla tai mekaanisin liittimin useista rakenneosista koottujen laattapalkkien ja puristettujen sauvojen osalta voidaan soveltaa standardin SFS-EN 1995-1-1 kohtaa 9.1 ja opastavia liitteitä B ja C.

Ristikoita koskevia yleisiä mitoitusääntöjä on esitetty standardin alakohdassa 9.2.

Yksiaukkoisilla ja jatkuvilla puristetuilla ja taivutetuilla (kentissä kuormitus) ristikkosauvoilla nurjahduspituutena käytetään ristikon tasossa momentin nollakohtien välistä sauvapituutta. Ristikon sisäsauvoilla (diagonaalit, vertikaalit) ja ensisijaisesti nurkkapisteissä kuormitettujen ristikoiden jatkuvilla puristetuilla paarteilla nurjahduspituus on käytännössä sama kuin nurkkapisteiden välinen etäisyys.

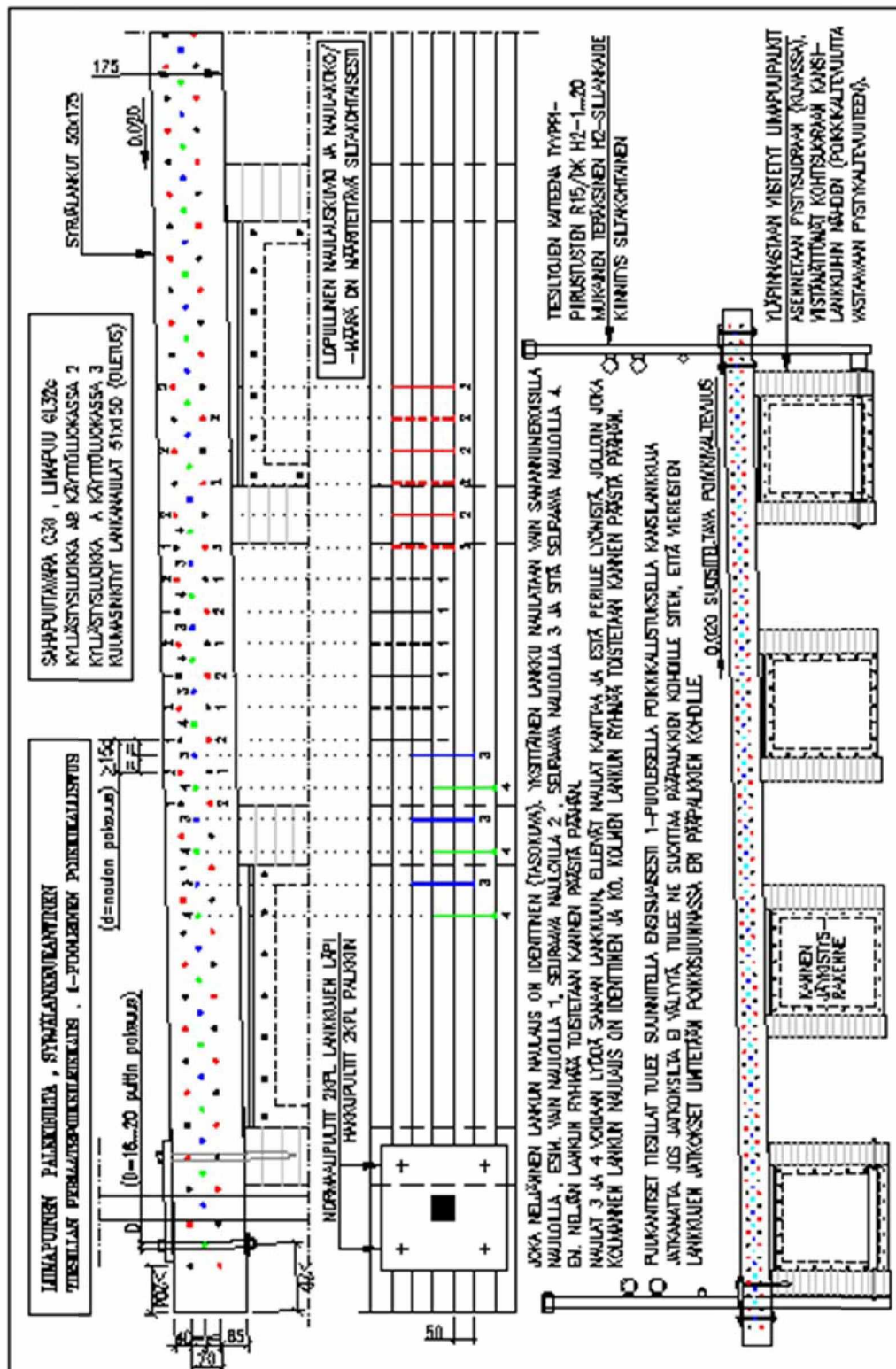
Ensisijaisesti nurkkapisteissään kuormitetulla ristikolla tulee yhteisvaikutuskaavan jännityssuhteiden summan olla kohdan 6.2.4 yhtälöistä (6.19) ja 6.20) poiketen $\leq 0,9$ standardin SFS-EN 1995 1-1 kohdan 9.2.1 mukaisesti.

Yksinomaan nurkkapisteissään kuormitetulla, standardin SFS-EN 1995 1-1 kohdan 5.4.3 yksinkertaistetulla menetelmällä analysoidulla ristikolla rajoitetaan veto- ja puristusjännitysten sekä liitoskestävyyden hyväksikäyttöaste arvoon 70 % standardin SFS-EN 1995 1-1 kohdan 9.2.1 mukaisesti.

Standardin kohdan 9.2.4 jäykistysseiniä koskevia sääntöjä voidaan soveltaa esim. liimapuupalkkisilloissa palkkeja yhdistävien sekundäärysten levyjäykisteiden tarkasteleissa.

Standardin kohdassa 9.2.5 on esitetty poikittaisjäykistystä koskevia sääntöjä ja periaatteita, joita voidaan soveltaa myös puusiltoihin, kun tarkastellaan sauvojen heikomman suunnan nurjahdus- ja kiepahdustuenta. Rakenteet on tuettava tai jäykistettävä stabiiliuden menetyksen tai ylisuurten taipumien estämiseksi ottamalla jäykistysvoimien määrittämisessä huomioon mitta-, työ- ja alkuepä-tarkkuuksien epäedullisimmat yhdistelmät. Standardissa esitetään puristettujen sauvojen alkuepä-tarkkuuden huomioivat lausekkeet stabiloivien sivuttaistukien jousivakiolle ja tukiin vaikuttavan stabiloivan voiman mitoitusarvolle.

Tiesilta



Kevyen liikenteen silta

